

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany

**Stanovení odstupových vzdáleností pro potřeby
požární bezpečnosti staveb**

Student: František Hasala

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Kučera, Ph.D.

Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Datum zadání bakalářské práce: 30. listopadu 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2010

Místopřísežné prohlášení:

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.“

V Ostravě dne 26. dubna 2010

.....
František Hasala

ANOTACE

Hasala, F. *Stanovení odstupových vzdáleností pro potřeby požární bezpečnosti staveb*. Bakalářská práce, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2010

Tato bakalářská práce se zabývá odstupovými vzdálenostmi a jejich stanovováním. V úvodní části je uveden základní fyzikální princip pro určování odstupových vzdáleností a jsou rozebrány parametry ovlivňující výpočet. Následuje základní srovnání pro vymezení odstupových vzdáleností a současně jsou uvedeny postupy stanovování odstupových vzdáleností pro speciální druhy stavebních objektů. V poslední části jsou pomocí modelů ověřeny některé parametry pro určení odstupové vzdálenosti.

Klíčová slova: odstupová vzdálenost; tepelný tok; polohový faktor; sálavá plocha.

ANNOTATION

Hasala, F. *Determination of clearances for the needs of fire safety in buildings*. Bachelor thesis, Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Faculty of Safety Engineering, 2010

This bachelor thesis deals clearances and their setting. In the introductory section is set out the basic physical principle for determining the clearances and discussed the parameters affecting the calculation. The following is the basic reference for the definition clearances and simultaneously setting out the procedure determination clearances for special types of buildings. In the last section are verified by the models, some parameters for determining the clearances.

Key words: fire distance; heat flux; configuration factor; radiating surface.

Seznam zkratek

A_s	plocha průřezu střešního pláště do půdorysu [m^2];
E	sálavost reálného tělesa [-];
E_0	sálavost dokonale černého tělesa [-];
H_i	výhřevnost i-té látky [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$];
\bar{I}	průměrný tepelný tok z požárně otevřených ploch emitujících různou hustotu tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
I_0	výchozí hustotu tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
I_c	celkový tepelný tok sálající z plochy S_p [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
I_k	kritická hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
I_s	kutečná hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
M_i	hmotnost 1 m^2 i-té hořlavé látky;
Q	elková rychlost uvolňování tepla z požáru [W];
Q_{in}	teplo, spotřebované k ohřátí vnitřního prostoru požárního úseku [W];
Q_{out}	je teplo uvolněné z hořícího prostoru prouděním přes otvory v ohraničujících konstrukcích [W];
Q_{rad}	teplo uvolněné sáláním otvory v ohraničujících konstrukcích [W];
Q_{wall}	teplo uvolněné z hořícího prostoru prostupem přes povrchy ohraničujících konstrukcí [W];
S_p	celková plocha otvorů v obvodových a střešních konstrukcích PÚ [m^2];
S_{po}	požárně otevřená plocha požárního úseku [m^2];
S_n	plocha požárního úseku, neemitující tepelný tok [m^2];
T_N	účinná teplota sálání prostředí požáru [$^{\circ}\text{C}$];
c	specifické teplo spalin [$\text{J} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}^{-1}$].
d	odstupová vzdálenost [m];
d_1	odstupová vzdálenost pro dopad hořících částí objektu [m];
d_2	odstupová vzdálenost pro hustotu tepelného toku [m];
d_s	odstupová vzdálenost od střešního pláště ve svislém směru [m];
d_v	odstupová vzdálenost od střešního pláště ve vodorovném směru [m];
h	výška oblasti sálajícího povrchu podle EN [m];

h_c	celková výška objektu [m];
h_u	výška plochy S_p [m];
j	počet druhů hořlavých látek;
l_u	délka plochy S_p [m];
m_{out}	hmotnostní množství plynů vznikajících při hoření [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$];
p_o	procento požárně otevřených ploch [%];
p_v	požární výpočtové zatížení [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$];
s	vzdálenost z místa sálající plochy do místa dopadu [m];
t	doba trvání požáru [min];
w	šířka oblasti sálajícího povrchu podle EN [m];
x_u	odhořelá vrstva z vnějšího povrchu hořlavých obvodových konstrukcí [m];
Φ	polohový faktor [-];
Θ_g	teplota plynů odpovídající účinkům požáru [$^{\circ}\text{C}$];
ε	emisivita reálného tělesa [-];
γ	úhel odklonu od okraje sálavé plochy [$^{\circ}$];
σ	Stephan-Boltzmannova konstanta ($5,67\cdot 10^{-8}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$];
τ_e	ekvivalentní doba trvání požáru určená zjednodušeným postupem [min].

Obsah

1 Úvod	1
2 Rešerše	2
3 Základní pravidla	3
3.1 Sdílení tepla sáláním	4
3.2 Polohový faktor	9
3.3 Sálavá plocha	16
3.3.1 Zcela požárně otevřená plocha	16
3.3.2 Částečně požárně otevřená plocha	16
3.3.3 Procento sálavé plochy	17
3.4 Vertikální a horizontální rovina	19
3.4.1 Požárně nebezpečný prostor střech	20
4 Odstupy pro speciální případy	21
4.1 Dřevostavby	21
4.2 Stavby s přídavnou tepelnou izolací polystyrénem	25
4.2.1 Opatření proti šíření požáru po fasádě	26
5 Model	27
5.1 Zadání modelu	27
5.1.1 Navýšení požárního rizika pro odstup u dřevostaveb	28
5.1.2 Podrobné posouzení procenta požárně otevřené plochy	28
5.2 Vyhodnocení modelu	30
5.2.1 Navýšení požárního rizika pro odstup u dřevostaveb	30
5.2.2 Podrobné posouzení procenta požárně otevřené plochy	33
6 Shrnutí	36
7 Závěr	38
8 Literatura	39
9 Seznamy	40

1 Úvod

Když se obecně řekne odstup, každý si dokáže představit určitou vzdálenost, kterou by měl dodržovat, ať už doslova nebo v přeneseném smyslu vztaženém na osoby a události. V našem případě, kdy určujeme odstupové vzdálenosti pro potřeby požární ochrany, celkem logicky vyplývá, že musíme dodržovat určitou vzdálenost od ohně, případně požáru. Už v dobách, kdy pračlověk objevil oheň a naučil se ho používat, pochopil, že čím blíže je ohně tím je mu tepleji a pokud se moc přiblíží, může mu dokonce ublížit. A naopak, čím je od něj dále tím je mu větší zima. V nadsázce se dá říci, že toto bylo první určení odstupové vzdálenosti pro potřeby požární ochrany, jelikož musel najít takovou vzdálenost, aby mu nebyla zima a aby mu od ohně nechytl oděv.

Další zásadní mezník v určování odstupových vzdáleností nastal ve středověku se vznikem prvních měst. Kde docházelo k soustředování velkého počtu domů na malé ploše města. Když se domy stavěly jeden vedle druhého a nenechávalo se mezi nimi místo, nebo jen velmi málo, stačilo, aby jeden jediný dům začal hořet a celé město lehlo popelem, jelikož jako hlavní materiál se používalo dřevo. O takových katastrofách je spousta záznamů a nevyhnuly se ani dnešním velkoměstům. Proto stavitelé později začali nechávat místo mezi domy, nebo bloky domů i na úkor zmenšení populace ve městě. I když to ještě nebylo přesné určení, to nastalo až s vědeckým pokrokem zhruba od poloviny 20. století.

Dnes už podle druhu, účelu, použitých materiálů, z nichž je objekt postaven a podle vnitřního vybavení objektu dokážeme exaktními pravidly nezbytnou vzdálenost vypočítat a pro konkrétní potřebu vymezit případný odstup mezi sousedními budovami.

V bakalářské práci budou uvedeny základní fyzikální pravidla, pro určení odstupových vzdáleností, stejně jako různé postupy pro jejich určování. Tyto postupy budou srovnány a posouzeny jejich výhody a nevýhody. Dále budou navrženy možné změny některých zavedených postupů.

Pro přesnější určení pravidel pro vymezování odstupových vzdáleností jsou součástí této práce příklady řešené pomocí simulačního modelu, na kterém se dá ověřit, mnoho parametrů související s požárem a tudíž i s odstupovými vzdálenostmi.

2 Rešerše

K danému tématu, již byla publikována celá řada prací a norem. Ty, které považuji za nejpodstatnější, jsou uvedeny níže.

REICHEL, V. *Zabraňujeme škodám*. SNTL, Praha, 1989

V této svazkové publikaci se autor věnuje obšírně tématu požární bezpečnosti staveb. Autor v ní popisuje základní principy navrhování požární bezpečnosti. Ve svazcích o odstupových vzdálenostech porovnává experimentálně určené hodnoty tepelných toků s vypočtenými podle fyzikálních rovnic.

SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Third Edition. NFPA, 2002.
ISBN 087765451-4.

Tato anglicky psaná literatura se zabývá podrobně požární bezpečností. Jsou v ní popsány fyzikální principy sálání tepla. Rozebrány všechny faktory, které mohou ovlivnit výpočet. Dále z fyzikálního hlediska popisuje dynamiku požáru, toxicitu zplodin hoření. Zabývá se modelováním požárů, požárně bezpečnostními zařízeními a metodami analýzy rizik.

ČSN 73 0802:2009 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty

Tato norma platí pro projektování nových nevýrobních staveb a pro změny současných nevýrobních staveb pokud na ní příslušné normy odkazují. Platí pro celou oblast požární ochrany.

ČSN 73 0804:2010 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty

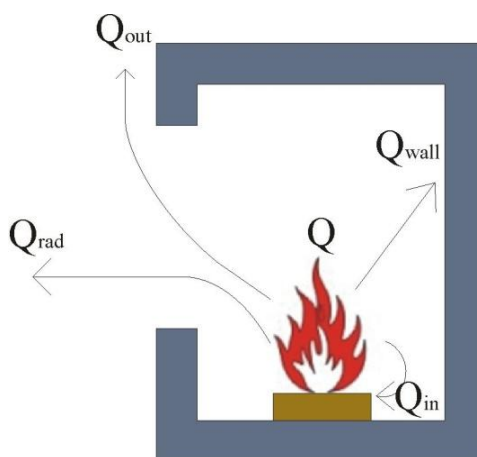
Tato norma platí pro projektování nových výrobních objektů, nebo dalších objektů, které mají vlastní projekční normy, ale odkazují se na tuto kmenovou normu. Platí pro celou oblast požární ochrany.

3 Základní pravidla

Při požáru ve vnitřním, stavebně vymezeném prostoru se uvolňuje teplo, jehož celkovou teplotní bilanci popisuje energetická rovnice (D.4), uvedená v příloze D [1]. Po jednoduché úpravě lze uvést:

$$Q = Q_{out} - Q_{in} + Q_{wall} + Q_{rad} \quad [W] \quad (1)$$

kde Q je celková rychlost uvolňování tepla z požáru [W];
 Q_{out} teplo uvolněné z hořícího prostoru prouděním přes otvory v ohraničujících konstrukcích;
 Q_{in} teplo, spotřebované k ohřátí vnitřního prostoru požárního úseku;
 Q_{wall} teplo uvolněné z hořícího prostoru prostupem přes povrchy ohraničujících konstrukcí;
 Q_{rad} teplo uvolněné sáláním otvory v ohraničujících konstrukcích.



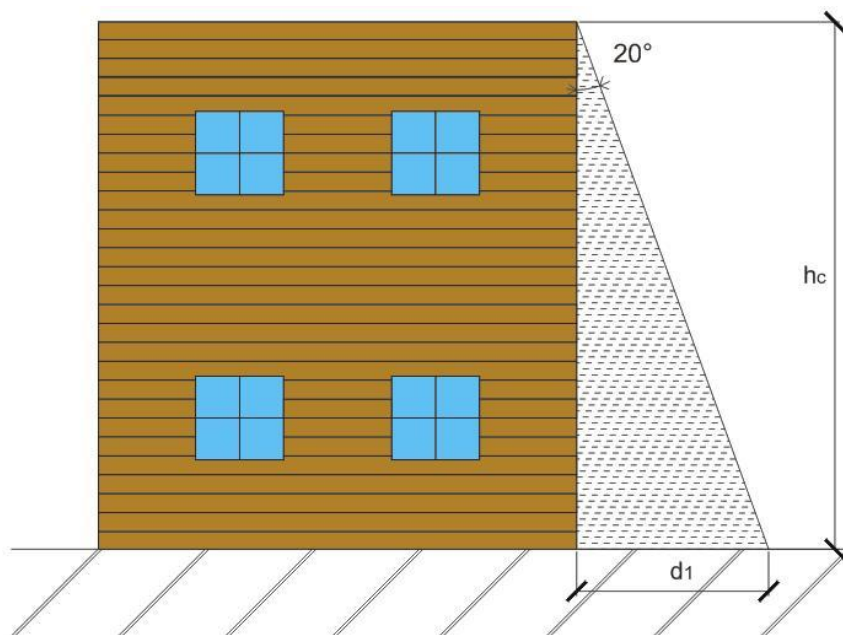
Obrázek 1: Základní složky tepelné bilance při požáru [autor]

Z hlediska posuzování odstupových vzdáleností bude rozhodující teplo, které se uvolňuje otvory mimo požárem zasažený prostor. Z ilustračního obrázku je zřejmé, že většinou se jedná o dílčí část tepla sdílená radiací Q_{rad} a ve vertikálním směru bude zřejmě nutné přihlédnout také k výše proudící části tepla Q_{out} .

K možnému zapálení sousedního objektu může dojít také z důvodů mechanických - tj. vlivem odpadávání hořících částí konstrukcí ze zasaženého objektu. Platné ČSN k dané problematice uvádějí rovnici:

$$d_1 = \tan 20^\circ \cdot h_c \quad [m] \quad (2)$$

kde h_c je celková výška objektu [m];
 d_1 odstupová vzdálenost pro dopad hořících částí objektu [m].



Obrázek 2: Dopad hořících částí [autor]

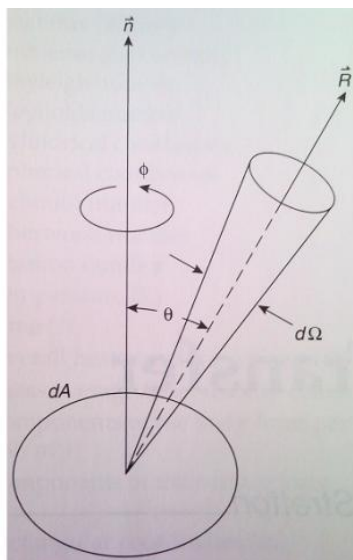
Padání hořících částí pod úhlem 20° (na obrázku je vyznačen od objektu s povrchovým dřevěným obkladem) je normově dohodnutá, taxativní velikost maximálního dopadového úhlu. Je zvolen tak, aby obsahoval určitou korekci z hlediska působení částečného vztlaku padajících (menších) hořících částic, vůči vlivu gravitace a také na případné odrazy padající části od konstrukčních výstupků před líc obvodové stěny.

Tento způsob stanovování odstupových vzdáleností již nebude v další části posuzován, jelikož se jedná o gravitační záležitost, která není v podstatě ovlivnitelná. Jenom doplním všeobecné pravidlo - pokud odstupová vzdálenost od dopadajících částí konstrukcí je vyšší než vzdálenost, kterou vyžaduje útlum radiačního tepla, tak se za výslednou volí větší z obou hodnot.

Dále je třeba zmínit to, že při stanovování odstupových vzdáleností nebereme v potaz meteorologickou situaci (venkovní teplotu, vlhkost, vítr, srážky atd.). Obecně lze říci, že meteorologická situace má zpravidla negativní vliv na odstupové vzdálenosti, např. vítr může roznést hořící částice mimo vymezenou odstupovou vzdálenost, kde může iniciovat další požár, atd.

3.1 Sdílení tepla sáláním

Sdílení tepla sáláním (radiací) pro účely stanovení odstupových vzdáleností, je ve fyzikální podstatě elektromagnetické záření (pohyb hmotných částic elektronů a iontů), které se může z výchozího zdroje realizovat v celém prostorovém úhlu $0-4\pi$.



Obrázek 3: Šíření tepla do prostoru [5]

Všeobecnou příčinou vzniku elektromagnetického záření je teplota a výsledná vyzářená energie se s rostoucí teplotou významně zvyšuje. Přitom k přenosu tepla do jiné části prostoru již dále nejsou nutné žádné zprostředkující podmínky. Současně platí, že každé těleso může nejen energii vyzařovat, ale také pohlcovat a odrážet.

Dopadá-li zářivá energie na nějaký předmět, tak v obecném případě se část energie odrazí, část se pohltí a část prostoupí tělesem dále. Pro další posuzování jsou důležité dva limitní případy. Pokud se žádná dílčí část energie nepohltí a ani neprostoupí dále, takové těleso se nazývá dokonale bílé a pokud se žádná dílčí část energie neodrazí a ani neprostoupí dále, nazýváme ho dokonale černým.

Celkové množství vyzářené energie (zářivý tok) nejčastěji vyjadřujeme zářivým tokem na jednotku plochy a označujeme ji jako výchozí hustotu tepelného toku I_0 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]. Její fyzikální závislost stanoví pro dokonale černé těleso Stephan-Boltzmannův zákon:

$$I_0 = \sigma \cdot (T_N + 273)^4 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (3)$$

kde σ je Stephan-Boltzmannova konstanta ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}]$ nebo $5,67 \cdot 10^{-11}$ pro jednotky [$\text{kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}]$);

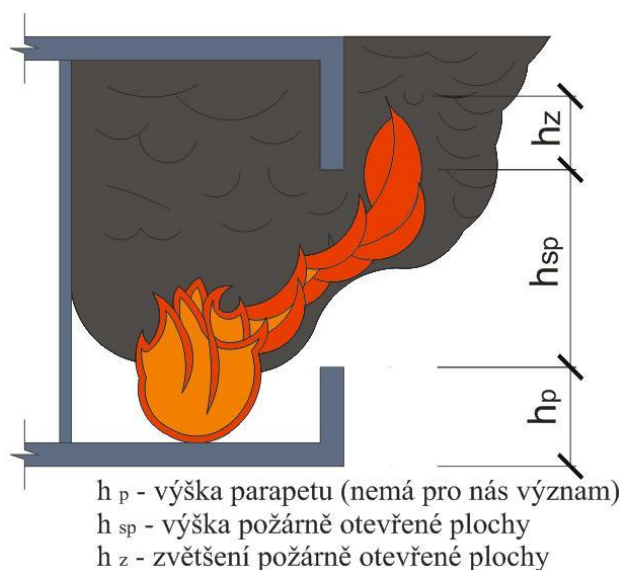
T_N účinná teplota sálání prostředí požáru [$^{\circ}\text{C}$].

V reálné praxi se však nesetkáváme s dokonale černými tělesy, u kterých dosahuje emisní součinitel (emisivita) limitní hodnoty $\varepsilon = 1,0$. Jde o bezrozměrnou veličinu, určenou pro jednotlivé materiály pokusně, z dílčích měření, představující poměrnou sálavost reálného tělesa E vůči tělesu dokonale černému E_0 :

$$\varepsilon = E/E_0 \quad [-] \quad (4)$$

kde E je sálavost reálného tělesa;
 E_0 sálavost dokonale černého tělesa.

U reálných hořících materiálů a jejich horkých plynů zpravidla nedosahuje emisní součinitel hodnoty vyšší než $\varepsilon = 0,8$. Podle zásad platných ČSN 73 0802 i ČSN 73 0804 jsou tabulkové údaje k odstupovým vzdálenostem vztaženy pro součinitel $\varepsilon = 1,0$. Zvětšením emisivity o 20% na maximální možnou hodnotu pokrýváme možný výskyt vyšlehujících plamenů mimo objekt požárně otevřenými plochami. Tyto plameny nám totiž zvětšují výšku požárně otevřené plochy, jak je znázorněno na obrázku 4.



Obrázek 4: Zvětšení plochy sálání díky vyšlehnutí plamenů [autor]

Reálnou hodnotu součinitele emisivity tj. $\varepsilon < 1,0$ pak můžeme používat u stanovení odstupových vzdáleností u konkrétních sálavých ploch, které nejsou požárně otevřenou plochou (např. u takových, které v požadované době požární odolnosti odpovídají klasifikačnímu zatřídění E, případně EW).

Po úpravě rovnice (3) na reálné těleso dostáváme:

$$I_0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_N + 273)^4 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5)$$

kde σ je Stephan-Boltzmannova konstanta ($5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}]$ nebo $5,67 \cdot 10^{-11}$ pro jednotky $[\text{kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}]$);
 T_N účinná teplota sálání prostředí požáru $[^\circ\text{C}]$.

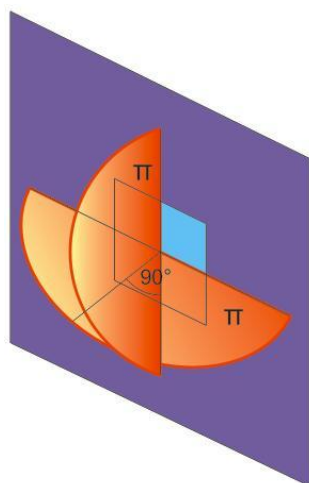
Účinná teplota sálání prostředí požáru T_N v hořícím prostoru se určuje podle nominálních teplotních křivek, nejčastěji se používá normová teplotní křivka, a proto se bude v této práci uvažovat pouze s ní. A ta se určí jako:

$$T_N = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (6)$$

kde t je doba trvání požáru [min].

Za proměnnou t dosazujeme u výrobních objektů ekvivalentní dobu trvání požáru τ_e a u nevýrobních objektů hodnotu výpočtového požárního zatížení p_v daného objektu či požárního úseku. Dosazení p_v o jednotkách $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ do doby trvání požáru je možné z důvodu dohody, že: $p_v \approx \tau_e \approx t$; z toho vyplývá, že z jednotkové plochy metru čtverečního odhoří jeden kilogram “normového” dřeva za minutu.

V této fázi již známe pravidla jak vypočítat výchozí sálavou energii. Nyní zbývá stanovit potřebnou odstupovou vzdálenost. Pro její zjištění je potřebné zopakovat pravidlo z úvodu této kapitoly, kdy sdílení tepla sáláním je možné realizovat v celém prostorovém úhlu $0-4\pi$ (tj. všemi směry). Ve skutečnosti to většinou bývá určitým otvorem (buď trvale vytvořeným, nebo vzniklým v důsledku porušení ohraničující konstrukce vlivem probíhajícího požáru) do jistého směru - zpravidla to bývá v intervalu prostorového úhlu $0-2\pi$.



Obrázek 5: Schematické znázornění prostorového směru sálání [autor]

Tuto poměrně složitou, ale z praktického dopadu důležitou oblast koriguje parametr, který se nazývá polohový faktor Φ . Když toto pravidlo vyjádříme matematicky, dostáváme skutečnou hustotu sálavého toku I_s v libovolném místě, vůči výchozí sálavé ploše:

$$I_s = \Phi \cdot I_0 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (7)$$

Polohový faktor vlastně určuje jaký podíl z celkového sálavého toku emitovaného sálavou rovinou, dopadne na místo, kde je situována konkrétní příjmová plocha. Jedná se o bezrozměrnou veličinu v intervalu hodnot 0 až 1. Výsledná hodnota polohového faktoru závisí na velikosti sálající plochy, dále na vzdálenosti příjmové plochy od sálavého povrchu a také na úhlu (dispozici), pod

kterým záření dopadá na tuto plošku. Jedná se o problematiku natolik specifickou, že je jí dále věnována samostatná kapitola.

Pokud umíme spočítat skutečnou hustotu sálavého toku I_s v libovolném místě, zbývá pro stanovení potřebné odstupové vzdálenosti určit kritickou hodnotu hustoty teleného toku, která již nebude osálávaným hořlavým látkám nebezpečná ani při dlouhodobém působení (tj. není schopna zapálit hořlavé materiály ve svém dosahu). Tato vzdálenost se nazývá odstupová vzdálenost a značíme ji d_2 .

Kritická (limitní) hodnota tepelného toku I_k byla v ČR stanovena hodnotou $I_k = 18,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Jedná se o experimentálně určenou hodnotu, kdy se zkoušelo při jaké plošné hustotě tepelného toku, při určité vlhkosti, teplotě a za jak dlouho vzplane reprezentativní vzorek dřeva. Jako reprezentativní vzorek dřeva bylo použito smrkové dřevo. Některé naměřené hodnoty udává tabulka 1:

Tabulka 1: Naměřené hodnoty I_k pro vzplanutí dřeva [2]

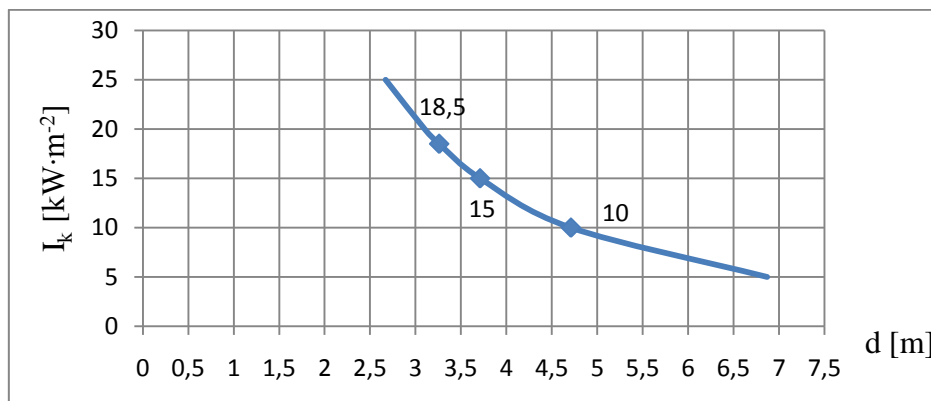
Čas vzplanutí [minuty]	Plošná hustota tepelného toku [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]	Vlhkost [%]
10	18	0
10	20,5	20
10	22,2	40
20	15,9	0
20	18,2	20
20	19,3	40

Z měření a srovnávací tabulky vyplývá - kritická hustota tepelného toku v ČR odpovídá stavu, kdy nesmí dojít k zapálení hořlavých materiálů tepelným tokem $I_k = 18,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ při vlhkosti 20% cca do 20 minut od počátku vystavení tepelnému namáhání. Což s ohledem na územní dislokaci jednotek HZS prakticky poskytuje ve většině případů dostatek času ke zjištění požáru, příjezdu jednotek požární ochrany, zahájení hasebních prací a k zamezení dalšího rozvoje požáru.

V některých zemích stanovili kritickou hustotu tepelného toku ještě přísněji (například v Anglii, kde $I_k = 13 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$). Nižší je také limitní hodnota pro klasifikační kritérium radiace W při hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí ($I_k = 15,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$). Rozdíly to nejsou výrazné, ale v konečném důsledku to představuje významné zvýšení odstupových vzdáleností d_2 . A dalo by se říci, že to rovněž na druhé straně znamená nemožnost přenesení požáru tepelným tokem i při dlouhodobém působení.

Graf 1 znázorňuje jak roste odstupová vzdálenost d s klesající kritickou hodnotou hustoty tepelného toku I_k . Výpočet je proveden pro $p_v(\tau_e) = 30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} (\text{min})$ a rozměry sálavé plochy 3×3 metry.

Graf 1: Závislost odstupové vzdálenosti na kritické hodnotě tepelného toku [autor]



Z průběhu grafu je rovněž zřejmé, že útlum intenzity sálání tepla ve vztahu k rostoucí vzdálenosti posuzovaného místa od sálavé plochy, má prokazatelně exponenciální závislost. Řešení této rovnice není jednoduché a vyžaduje počítačové programové řešení. Protože v době zavádění ČSN 73 0802 nebyla výpočetní technika k dispozici v běžném stolním provedení, obsahuje tato ČSN stanovení odstupových vzdáleností formou tabulkových hodnot, kde výsledná hustota tepelného toku je v konečném vyjádření korigována ještě jedním zjednodušujícím pravidlem a to je procento požárně otevřených ploch p_o :

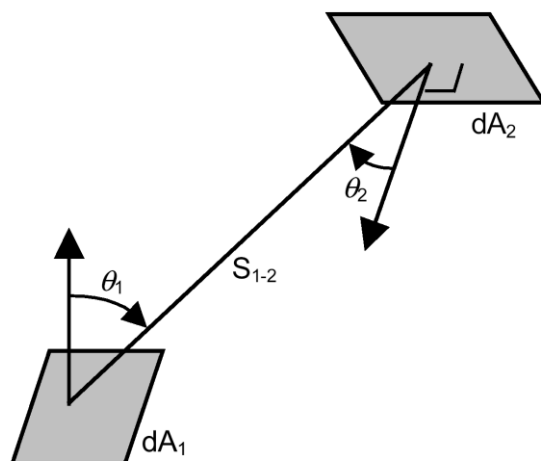
$$I_s = \Phi \cdot I_0 \cdot p_o \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (8)$$

kde Φ je polohový faktor;
 p_o procento požárně otevřených ploch [%].

Historický, zjednodušující význam procenta požárně otevřených ploch p_o , kdy nebylo nutné posuzovat každou sálavou plochu samostatně, ale v určitém společném souboru, dnes již není aktuální. Přesto se stále používá a proto je dále hodnocen v samostatné kapitole.

3.2 Polohový faktor

Jak již bylo uvedeno, polohový faktor Φ potřebujeme pro určení odstupových vzdáleností d_2 a v podstatě nám určuje, jak velká část tepelného toku z požárně otevřené plochy skutečně dopadne na libovolně vzdálenou a libovolně orientovanou přijímací plochu. V obecné fyzikální rovině můžeme přenos tepla sáláním pro dvě velmi malé plochy ilustrovat na následujícím schématu

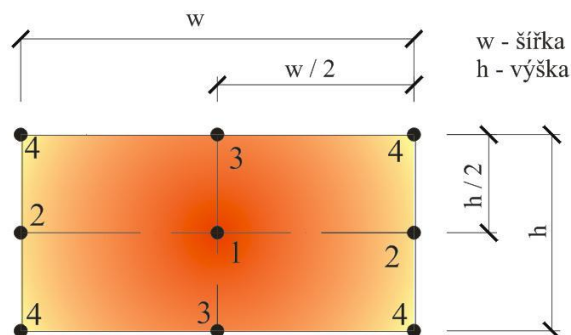


Obrázek 6: Přenos sálavého tepla mezi dvěma nekonečně malými plochami [1]

Pokud by se jednalo o bodový zářič a známe počáteční hodnotu tepelného toku I_0 sálajícího z konkrétní požárně otevřené plochy, včetně kritické hustoty tepelného toku I_k (na jakou musí počáteční tok klesnout), byla by tato úloha snadno řešitelná, jelikož hustota tepelného toku emitovaná bodovým zářičem je ve vzdálenosti d od toho zářiče nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti s (výchozí evropská norma EN 1991-1-2 označuje vzdálenost mezi oběma plochami jako s a nikoliv, jak bylo již dříve v ČR, zavedeno písmenem d). Jelikož, ale v praktické požární bezpečnosti nikdy není požárně otevřená plocha bodový zářič, nemůžeme tento v podstatě jednoduchý poznatek používat.

Při pohledu na obrázek 6 je zřejmý vliv prostorového uspořádání obou ploch. Pokud bychom vzali plochu dA_1 jako rovinu sálající a plochu dA_2 jako rovinu přijímací a z obou rovin vztýčili kolmice k těmto rovinám a následně spojili středy těchto rovin, tak nám mezi spojnicí a kolmicemi vzniknou prostorové úhly θ_1 a θ_2 . Podle Lambert Kosinova zákona [3] je hustota tepelného toku na jednotku plochy úměrná $\cos \theta_1$. To znamená, že maximální vyzařování bude pod úhlem $\theta_1 = 0^\circ$ a naopak minimální bude pod úhlem $\theta_1 = 90^\circ$. To stejné platí pro úhel θ_2 .

Z uvedeného tedy vyplývá, že výsledná hodnota polohového faktoru Φ proto odpovídá místu, ve kterém se polohový faktor Φ určuje - největší bude ve středu sálající plochy a postupně se bude snižovat k okrajům sálající plochy a nejmenších hodnot nabude v rozích sálající plochy. Obecně se dá říci, že na povrchu sálající plochy bude polohový součinitel ve středu roven $\Phi = 1$ (bod 1), na středech okrajů sálající plochy bude $\Phi = 0,5$ (body 2 a 3) a v rozích sálající plochy je roven $\Phi = 0,25$ (bod 4).



Obrázek 7: Sálající plocha s body určujícími polohový součinitel [autor]

Polohový součinitel má i praktické vlastnosti. Nejpodstatnější je, že sálající plochu můžeme rozdělit na dílčí plochy, pro které spočteme jednotlivé polohové faktory Φ_i , a tyto dílčí hodnoty můžeme sčítat nebo odečítat. Toho využijeme například pro případy, kdy je část sálající plochy zastíněná a tedy neemituje tepelné záření.

Vedle skutečnosti, v jaké poloze vůči středu sálavé plochy se posuzovaný příjmový bod vyskytuje, je neméně důležité, v jaké vzájemné orientaci jsou sálavá a příjmová plocha. Nejčastěji se polohový součinitel Φ určuje pro rovnoběžnou dispozici, která je nejméně příznivá tzn., dopadá největší hustota tepelného toku na pohlcující plochu. Tato metodika se v minulosti v ČR používala a možná ještě používá pro všechny výpočty odstupových vzdáleností, ať se jedná o jakoukoliv dispozici.

Základní vzájemné dispozice sálavé a pohlcující roviny jsou uvedeny na obrázcích P1.1a-d v příloze 1.

V příloze G [1] jsou uvedeny rovnice pro všechny prostorové dispozice; nejdříve použijeme vztah pouze pro rovnoběžnou dispozici:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{(1+a^2)}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{\sqrt{(1+a^2)}} \right) + \frac{b}{\sqrt{(1+b^2)}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{\sqrt{(1+b^2)}} \right) \right] \quad (9)$$

kde $a = h/s$;

$b = w/s$;

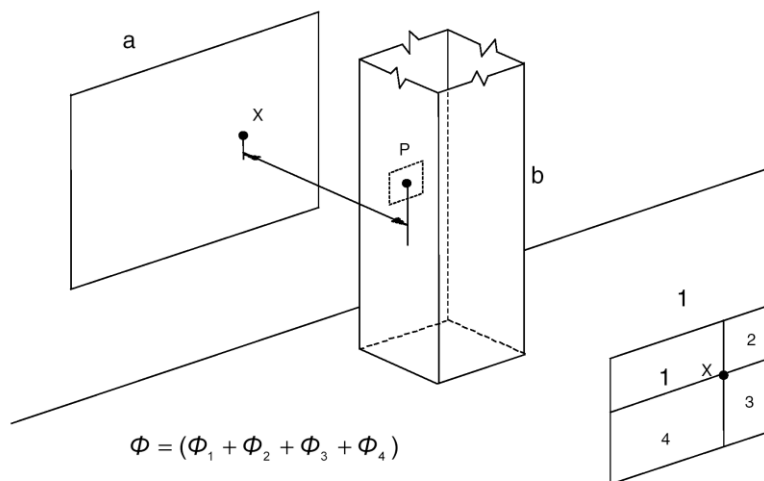
h je výška oblasti sálajícího povrchu;

w šířka oblasti sálajícího povrchu;

s vzdálenost z místa sálající plochy do místa dopadu.

Polohový faktor pro každý přijímající povrch se má stanovit jako součet dílčích příspěvků z každé oblasti sálajícího povrchu (obvykle ze čtyř $\Phi_1 - \Phi_4$), viditelné z bodu P na přijímajícím povrchu, jak znázorňuje obrázek 8. Tyto oblasti se mají definovat ve vztahu k bodu X, kde

vodorovná přímka kolmá na přijímající povrch protíná rovinu, která obsahuje sálající povrch [1]. Obrázek 8 se vztahuje k posuzování zatěžování prvku při požáru.



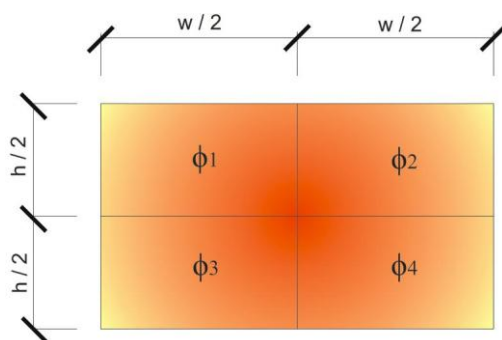
a sálající povrch

b přijímající povrch

(popis obrázku v [1] pro rovnoběžnou dispozici není zcela přesný – označení *b* přísluší tomu povrchu, kde právě leží bod P)

Obrázek 8: Přijímající povrch v rovině rovnoběžné s rovinou sálajícího povrchu [1]

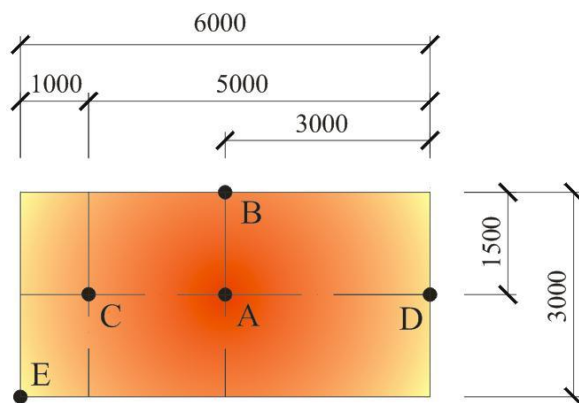
Nejčastěji se bod X volí ve středu sálavé plochy. Potom všechny dané oblasti, na které se sálající plocha rozdělí, jsou shodné a my můžeme využít matematické úpravy, kdy místo vztahu $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$ použijeme $\Phi = 4\Phi_1$ čímž se nám upraví rovnice (9), před závorkou poté bude $\Phi = \frac{2}{\pi} [\dots]$. Do výpočtu proměnných *a* a *b* pro jednu oblast budeme dosazovat polovinu výšky a šířky sálající plochy jak je uvedeno na obrázku 9.



Obrázek 9: Rozdělení sálavé plochy na stejné dílčí plochy [autor]

Jako důkaz, že skutečně polohový faktor Φ závisí na vzdálenosti od středu sálavé plochy a rovněž na vzdálenosti od sálavé plochy slouží následující příklad:

Příklad 1: Sálavá plocha má rozměry 3 x 6 m, výpočtové zatížení $p_v = 30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, budeme určovat polohový faktor Φ v 5 bodech (A, B, C, D, E) ve vzdálenosti 3 metry od roviny sálavé plochy. Rozmístění bodů je znázorněno na obrázku 10. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2, včetně výchozí intenzity sálání v dílčích bodech na povrchu sálavé plochy.



Obrázek 10: Srovnávací body [autor]

Tabulka 2: Praktický výpočet polohového faktoru [autor]

	A	B	C	D	E
Φ [-]	0,361	0,277	0,294	0,214	0,167
I_s [$\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$]	87,57	43,785	58,38	43,785	21,89
Odstupová vzdálenost pro kritickou hodnotu $I_s = 18,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$					
d [m]	4,47	3,93	3,92	3,05	1,76

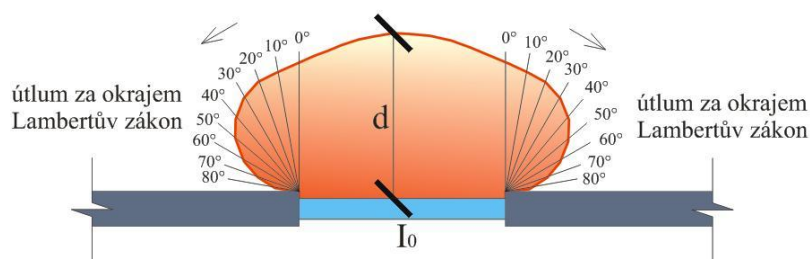
Z uvedeného příkladu jasně vyplývá správnost tvrzení, že hodnota tepelného toku klesá od středu k okrajům sálavé plochy. Za okrajem sálavé plochy dochází k dalšímu poklesu hustoty tepelného toku. Tento pokles je úměrný rostoucímu úhlu odklonu γ . Tento pokles vyjadřuje Lambertův zákon:

$$I_s = I_0 \cdot \Phi \cdot \cos \gamma \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (10)$$

Úhel odklonu γ teoreticky nabývá hodnot od 0 do 90°, ale prakticky počítáme pouze s úhlem γ v intervalu od 0° do 70°, jelikož při úhlech nad 70° jsou hodnoty I_s tak malé, že je můžeme zanedbat a při hodnotě $\gamma = 90^\circ$ se hodnota hustoty tepelného toku vyzařovaného ze sálavé plochy rovná 0, jak již bylo výše uvedeno.

Když už známe potřebné vztahy pro výpočet odstupových vzdáleností, můžeme si nyní vybrat ze dvou postupů grafického vymezení jednotlivých bodů výpočtu odstupové vzdálenosti - tato hranice, která prochází místy, kde kritická hustota tepelného toku se rovná hodnotě $I_k = 18,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ se nazývá hranice požárně nebezpečného prostoru a lze ji vymežit dvěma způsoby, a sice podrobným nebo zjednodušeným postupem.

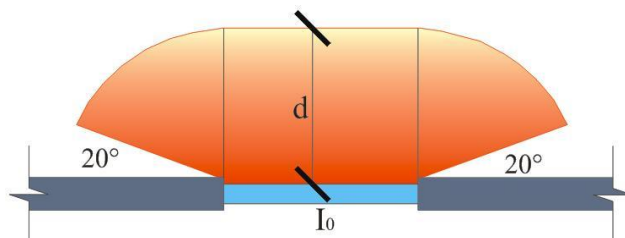
a) Pokud se rozhodneme pro podrobný výpočet, bude výsledná odstupová vzdálenost nejbližší ke skutečnému stavu v případě požáru. Tento způsob výpočtu znamená, že víme, že ve středu sálavé plochy je největší polohový faktor Φ a tudíž i největší odstupová vzdálenost d_2 a směrem k okrajům sálavé plochy jeho velikost klesá stejně jako odstupová vzdálenost. Proto si pomyslnou spojnicí od středu k jednomu z okrajů sálavé plochy rozdělíme po určitých stejně velkých vzdálenostech a v těchto vzdálenostech počítáme polohový faktor Φ a odstupovou vzdálenost. Poté podle rovnice (10) vypočteme útlum hustoty tepelného toku za okrajem. Pokud je sálavá plocha stejná na obou polovinách můžeme vypočtené hodnoty pro jednu polovinu použít i na druhou bez dalšího výpočtu. Pokud ovšem tomu tak není je potřeba tyto hodnoty opět spočítat.



Obrázek 11: Podrobný způsob výpočtu [autor – převzato z [8]]

Jelikož tento způsob výpočtu, je poněkud náročný jak na složitost výpočtu, tak i na množství rovnic a v minulosti nebyla příliš dostupná výpočetní technika tak jako v dnešní době, zaváděla se do výpočtu zjednodušení.

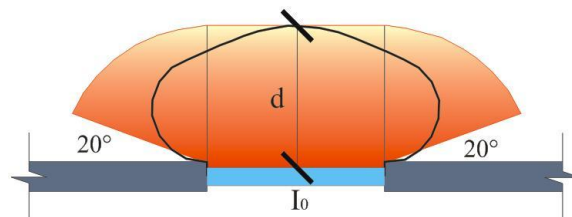
b) Ve zjednodušeném vymezení požárně nebezpečného prostoru se použije maximální odstupová vzdálenost, která odpovídá středu sálavé plochy a bude stejná v celém jejím průmětu. Rovněž se nepočítá útlum sálání za okrajem sálavé plochy. Od okraje roviny sálavé plochy se pod úhlem 20° vynesou přímky o délce d , která se částí kružnice o poloměru d spojí s rovnoběžkou s požárně otevřenou plochou, vedenou opět ve vzdálenosti d .



Obrázek 12: Zjednodušený postup výpočtu [autor – převzato z [8]]

Obrázek 13 znázorňuje srovnání podrobného a zjednodušeného výpočtu. Jak je vidět tak zavedené zjednodušení nemá vliv na maximální odstupovou vzdálenost, ale má vliv na

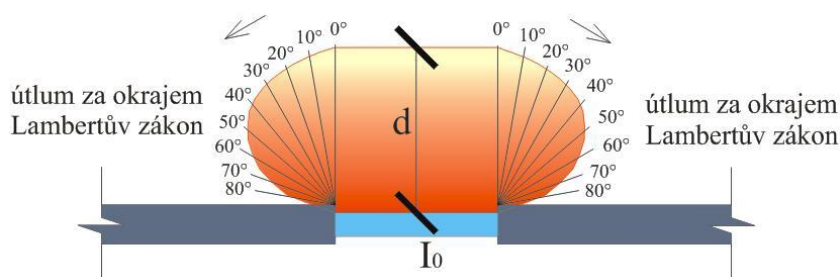
celkovou plochu, kterou zabírá požárně nebezpečný prostor. Na druhé straně zjednodušený postup je časově méně náročný a je vždy postupem na straně bezpečnosti.



Obrázek 13: Srovnání podrobného a zjednodušeného výpočtu [autor – převzato z [8]]

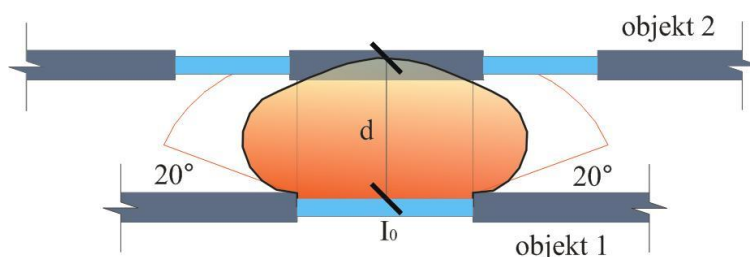
I když už dnes vytvoření programu pro podrobný výpočet je, dalo by se říci, záležitosti hodin a dnes dostupná výpočetní technika je velmi výkonná, používá se zjednodušený způsob často i dnes.

Dále můžeme použít kombinaci podrobného výpočtu a zjednodušeného postupu. Při této variantě vypočítáme hustotu tepelného toku ve středu sálavé plochy a použijeme ji na celé ploše sálavé plochy. Útlum za okrajem sálavé plochy, už se bude počítat podle podrobného výpočtu, použijeme tedy Lambertův zákon, rovnice (10) pro úhel $\gamma = 0^\circ$ až 70° . Jelikož je hustota tepelného toku I_s po celé délce sálající plochy konstantní dostáváme se opět na stranu bezpečnosti.



Obrázek 14: Kombinace zjednodušeného a podrobného výpočtu [autor – převzato z [8]]

Příklad 2: Srovnání obou metod určení odstupových vzdáleností na konkrétním příkladu. Na obrázku 15 je názorně vidět, že při podrobném vymezení odstupové vzdálenosti nemusí mít výplň otvorů žádnou požární odolnost, i když podle zjednodušeného postupu by mít musela.



Obrázek 15: Srovnání metod určení odstupových vzdáleností [autor]

Sálavá plocha ovšem nemusí být vždycky jenom rovnoběžně s přijímací plochou. Podrobně je toto téma rozebráno v příloze 1.

3.3 Sálavá plocha

Požárně otevřená plocha může být podle terminologie platných ČSN dvojího druhu. A to zcela požárně otevřená plocha nebo částečně otevřená požární plocha (tato plocha vůči zcela požárně otevřené ploše emituje nižší intenzitu sálání). Jedná se v podstatě opět o historickou záležitost, kdy nebylo dostatečné počítačové vybavení, a v projektové praxi se částečně požárně otevřená plocha nezapočítávala celá, ale jenom její část (25%). V současnosti se však započítání jenom dílčí části sálavé plochy již nepoužívá.

3.3.1 Zcela požárně otevřená plocha

Za zcela požárně otevřenou plochu se považuje ta plocha obvodového pláště nebo jeho části, která na svém vnějším líci emituje tepelný tok $60 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ nebo větší, to odpovídá výpočtovému zatížení $p_v > 15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ($\tau_e > 15 \text{ min}$).

Jedná se o plochy, které nesplňují minimální požární odolnost E 15 (zasklení běžným sklem), výplň nesnižuje tepelný tok při jeho prostupu po dobu požární odolnosti a dále o konstrukční části druhu DP3, pokud se neprokáže, že jejich úpravou vzniká tepelný tok menší než $60 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. [4]

3.3.2 Částečně požárně otevřená plocha

Za částečně požárně otevřenou plochu se považuje ta plocha obvodového pláště nebo jeho části, která na svém vnějším líci emituje tepelný tok 15 až $60 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. To odpovídá výpočtovému zatížení $2 < p_v \leq 15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ($2 < \tau_e \leq 15 \text{ min}$).

Za částečně požárně otevřené plochy se považují např. obvodové konstrukce druhu DP1 či DP2 a které mají povrch z výrobků třídy reakce na oheň B až D (dřevěný obklad) z jejichž povrchu se za dobu požadované požární odolnosti uvolní teplo větší než 150 MJ a menší než 350 MJ z 1 m^2 . Pokud se uvolní méně, nejedná se o požárně otevřené plochy. Pokud se uvolní více, než 350 MJ z 1 m^2 jedná se zcela požárně otevřené plochy. [4]

Množství tepla uvolněného z 1 m^2 udává rovnice podle [4]:

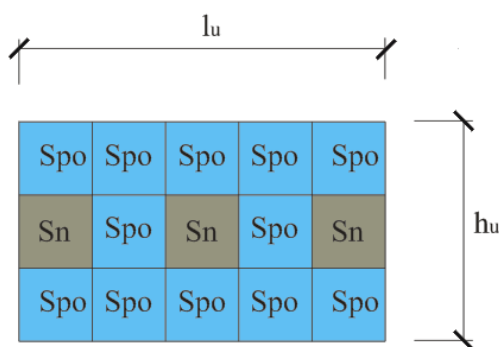
$$Q = \sum_{i=1}^j M_i \cdot H_i \quad [\text{MJ}] \quad (11)$$

kde M_i je hmotnost 1 m^2 i-té hořlavé látky;
 H_i výhřevnost i-té látky v $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
 j počet druhů hořlavých látek.

3.3.3 Procento sálavé plochy

Jak již bylo výše uvedeno, za sálavou plochu považujeme požárně otevřenou plochu, která emituje tepelný tok. Někdy ovšem požárně otevřená plocha nemusí celým svým povrchem emitovat tepelný tok, nebo když máme hodně požárně otevřených ploch blízko sebe, které však nejsou celistvě propojeny; abychom nemuseli počítat každou požárně otevřenou plochu zvlášť, je možné daný případ posoudit jako jednu pomocnou celistvou sálavou plochu, kterou označíme, jako S_p . Jednotlivé požárně otevřené plochy označíme jako S_{po} a plochy, které neemitují tepelný tok, označíme jako S_n . Součet všech ploch musí být roven:

$$S_p = S_{po} + S_n \quad (12)$$



Obrázek 16: Rozdělení sálavé plochy na dílčí plochy [autor]

Toto rozdělení provádíme z důvodu, že pokud se nám zmenšuje plocha emitující tepelný tok, potom i výsledný tepelný tok vyzařovaný z této plochy bude menší a rovněž i odstupová vzdálenost vyjde menší. Vyjádření poměru sálající plochy S_{po} k celkové ploše S_p se udává v procentech.

$$p_o = (S_{po} / S_p) \cdot 100 \quad [\%] \quad (13)$$

Po vyjádření procenta sálavé plochy p_o můžeme tedy spočítat, jakou hodnotu bude mít tepelný tok sálající z celkové plochy S_p .

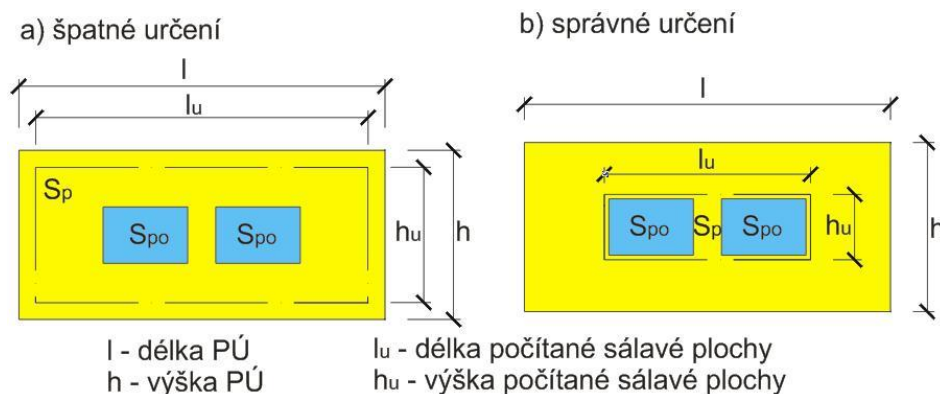
$$I_c = p_o \cdot I_0 / 100 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (14)$$

kde I_0 je původní tepelný tok pro sálavou plochu bez neemitujících částí.

Pokud máme několik sálavých ploch, které mají různou hustotu tepelného toku, tak určíme výchozí celkový tepelný tok I_c metodou váženého průměru podle rovnice (17), která je dále uvedena v kapitole 4.1.

Při praktickém používání procenta sálavé plochy, se ovšem musí ctít některé zásady. Rozměry l_u a h_u pro danou plochu musíme volit co nejmenší, aby nám výsledné procento sálavé plochy p_o vyšlo co nejvyšší. ČSN 73 0802 dnes udává, že nejmenší procento sálavé plochy musí být

40%. Pokud vyjde menší, automaticky se zavádí tato hodnota. Přesto při počátečním tepelném toku např. $I_0 = 40 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ a současně minimálním procentu sálavé plochy 40% nám po dosazení do rovnice (14) vyjde celkový tepelný tok $I_c = 16 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ což by nevyžadovalo odstupovou vzdálenost. Proto příslušné ČSN obsahují ještě ustanovení z hlediska bezpečnosti, a to stanovit odstupové vzdálenosti také pro jednotlivé požárně otevřené plochy. Možné příklady nesprávného a správného určení l_u i h_u jsou uvedeny na obrázcích 17a a 17b.



Obrázek 17: Vymezení sálavé plochy S_p [autor]

Nyní máme dvě možnosti jak pokračovat. Za prvé můžeme hodnotu I_c dosadit namísto hodnoty I_0 do rovnice (7) a pokračovat opět výše uvedeným způsobem. Druhá možnost je použít ČSN 73 0802 respektive ČSN 73 0804, kde v přílohách jsou již uvedeny vypočítané tabulkové hodnoty odstupových vzdáleností pro různé rozměry sálavých ploch S_p , pro daná procenta požárně otevřených ploch p_o a výpočtová požární zatížení p_v respektive pro ekvivalentní dobu trvání požáru τ_e . Pokud nějaké mezilehlé hodnoty nejsou uvedeny, tak se dají získat pomocí jednoduché interpolace.

Tabulka 3: Tabulkové hodnoty odstupových vzdáleností d [4]

Výška h_u m	Délka l m	Procenta požárně otevřené plochy	Odstupové vzdálenosti v m pro výpočtové požární zatížení p_v v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$									
			≤ 10	20	30	40	50	60	80	100	120	> 180
do 3,0	do 4,5	100	2,5	3,5	4,0	4,4	4,7	5,0	5,4	5,7	6,0	6,7
		80	2,1	2,9	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,9
		60	1,5	2,3	2,8	3,1	3,4	3,6	4,0	4,2	4,5	5,0
		40	0,2	1,5	1,9	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,9
	9,0	100	3,1	4,5	5,3	5,9	6,3	6,7	7,3	7,8	8,2	9,1
		80	2,5	3,7	4,5	5,0	5,4	5,8	6,4	6,8	7,2	8,0
		60	1,7	2,8	3,5	4,0	4,4	4,7	5,2	5,6	5,9	6,7
		40	0,3	1,7	2,3	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2	4,4	5,1
	15,0	100	3,4	5,1	6,1	6,9	7,5	8,0	8,8	9,5	10,0	11,3
		80	2,6	4,1	5,1	5,8	6,3	6,8	7,5	8,1	8,6	9,7
		60	1,7	3,0	3,9	4,5	5,0	5,4	6,0	6,6	7,0	8,0
		40	0,3	1,8	2,4	2,9	3,3	3,7	4,2	4,6	5,0	5,9
	24,0	100	3,5	5,4	6,6	7,6	8,4	9,0	10,1	10,9	11,6	13,2
		80	2,7	4,3	5,4	6,2	6,9	7,5	8,4	9,2	9,9	11,3
		60	1,8	3,1	4,0	4,7	5,3	5,7	6,5	7,2	7,7	9,0
		40	0,3	1,8	2,5	3,0	3,4	3,8	4,4	4,9	5,3	6,3

Jak již bylo uvedeno, tak poslední metoda, kdy odstupovou vzdálenost určujeme pomocí tabulek v uvedených normách, byla využívána v minulosti z nedostatku kvalitní výpočetní techniky pro urychlení určování odstupových vzdáleností. Jelikož již v dnešní době je výpočetní technika jak kvalitativně tak i cenově dostupná, tak tato metoda dá se říci, že ztratila význam. Její využití je dnes spíše ve výuce požární bezpečnosti na školách zabývajících se požární bezpečností.

3.4 Vertikální a horizontální rovina

Jak již bylo na začátku uvedeno, stanovujeme odstupové vzdálenosti jak v rovině horizontální, tak i ve vertikální rovině. Vertikální odstupová vzdálenost je v některých případech ještě důležitější než horizontální. Je to z prostého důvodu, kdy při požáru z požárně otevřené plochy sálá tepelný tok a současně přes ni proudí konvektivní složka tepla uvolněná při požáru. Kdyby nad požárním úsekem, ve kterém hoří, se dispozičně blízko vyskytoval např. jiný nosný konstrukční prvek téhož či sousedního objektu, nebo zde procházelo technické či technologické zařízení obsahující hořlavé látky a vertikální odstupová vzdálenost by byla nesprávně určena, může dojít k přenesení požáru, anebo ke ztrátě stability nosných konstrukcí, případně také k ohrožení osob.

Proto na rozdíl od horizontální odstupové vzdálenosti zavádíme do výpočtu požárně nebezpečného prostoru i konvektivní složku tepelného toku Q_{out} , kterou jsme zanedbali při výpočtu horizontální odstupové vzdálenosti. Podíl Q_{out} , jehož fyzikální podstatou je první termodynamická věta, se stanoví ze vztahu:

$$Q_{out} = m_{out} \cdot c \cdot \Theta_g \quad [\text{W}] \quad (15)$$

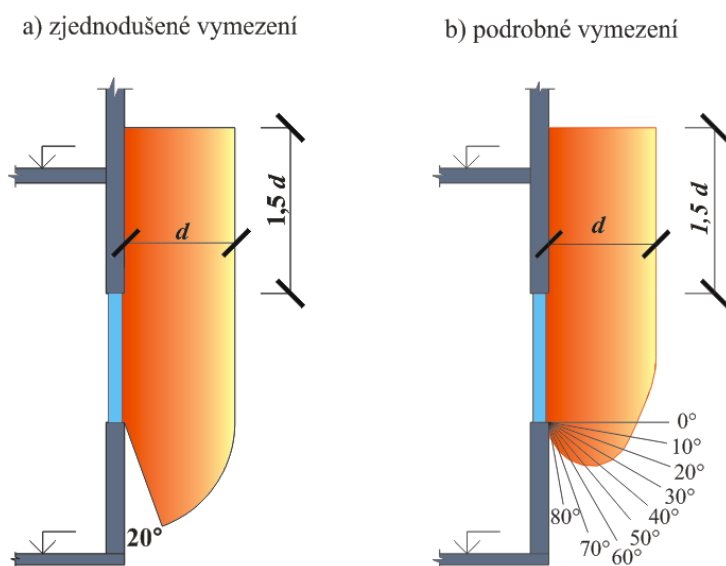
kde m_{out} je hmotnostní množství plynů vznikajících při hoření [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$];
 Θ_g teplota plynů odpovídající účinkům požáru [$^{\circ}\text{C}$];
 c specifické teplo spalín [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

V praxi se obtížně hodnotově vyjadřuje (zpravidla k tomu slouží modely); případně lze použít některé rovnice uvedené v příloze B ČSN EN 1992-1-2:2004.

Pro běžné použití je navrženo v příslušných ČSN určité zjednodušení, a to ve vztahu na vypočtenou maximální odstupovou vzdálenost vůči středu sálavé plochy. Při grafickém vymezení požárně nebezpečného prostoru si opět můžeme zvolit, jakou metodou budeme postupovat. Je zde zřejmý rozdíl až v konečné fázi. Pokud použijeme podrobný výpočet, tak spočteme výslednou odstupovou vzdálenost d ve středu sálavé plochy a směrem dolů počítáme s měnícím se polohovým faktorem Φ a pod spodním okrajem určíme útlum

tepelného toku pomocí rovnice (10). Směrem nahoru od středu již nepočítáme, ale použijeme hodnotu d pro střed sálavé plochy. Od horní hrany sálavé plochy vyneseme 1,5 násobek odstupové vzdálenosti d a spojíme se svislou a vodorovnou hranicí. Násobíme z důvodu pokrytí možného vyšlehnutí plamenů a vůči již zmíněnému podílu Q_{out} .

Na obrázku 18 je znázorněna vertikální odstupová vzdálenost stanovená pomocí obou metod.



Obrázek 18: Určení vertikální odstupové vzdálenosti [autor]

Při stanovení odstupové vzdálenosti d ve vertikálním směru je potřeba upozornit na vstupní podmínky: do rovnice polohového faktoru Φ je nutné použít správné údaje - tj. za délku sálavé plochy dosadit tentokrát výšku posuzovaného otvoru a za výšku sálavé plochy dosadit pohledovou šířku otvoru. Pokud bude posuzovaná sálavá plocha celistvě vyplněna stavební konstrukcí s požární odolností (např. klasifikace E nebo EW), která již brání vyšlehávání plamenů i proudění tepla, tak se požárně nebezpečný prostor i ve vertikálním směru vymezuje standardně – bez přídatné korekce $1,5 d$.

3.4.1 Požárně nebezpečný prostor střech

Odstupová vzdálenost, respektive požárně nebezpečný prostor od střech (střešních plášťů) se určuje jak v horizontálním směru, tak i ve vertikálním směru. Pro posouzení odstupů ve vodorovném směru je nutné pro danou střechu určit výšku průmětu střešního pláště h_u do roviny obvodové stěny (horní úroveň výšky sálavé plochy h_u je limitována hřebenem střechy, dolní pak spodní hranou střechy či okapu). Pokud má střecha sklon menší než 15° , tak zavádíme minimální taxativní výšku průmětu $h_u = 2$ metry. Délka sálavé plochy l posuzovaného střešního pláště odpovídá vzdálenosti mezi svislými okraji průmětu střešního pláště. Intenzitu sálání z běžného hořlavého střešního pláště můžeme bez dalšího průkazu

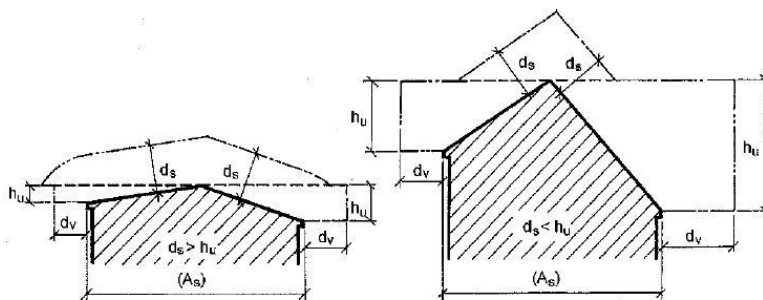
volit z taxativní normové hodnoty $I_0 = 87 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, která odpovídá výpočtovému požárnímu zatížení $p_v = 30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ [4]. Z uvedených parametrů pak můžeme určit (výpočtem nebo podle normových tabulek) odstupovou vzdálenost od střechy ve vodorovném směru. Výsledek se vynese do strany od spodní hrany střechy (okapu) a pro vodorovný směr se značí d_v .

Ve svislém směru se potřebná hodnota odstupové vzdálenosti (značí se d_s) zpravidla určí podle rovnice (16) neboť podle příslušných ČSN se již v daném směru nepožaduje odstupová vzdálenost větší. Výsledek se vynese tak, že od povrchu střešního pláště se vede kolmice d_s .

Postup vymezení požárně nebezpečného prostoru v obou směrech je zřejmý z obrázku 19.

$$d_s = A_s^{\frac{1}{3}} \text{ [m]} \quad (16)$$

kde A_s je plocha průřezu střešního pláště do půdorysu.



Obrázek 19: Vymezení požárně nebezpečného prostoru střech podle normy [4]

4 Odstupy pro speciální případy

Uvedený postup určování odstupových vzdáleností je platný pro všechny druhy stavebních objektů, které musí splňovat požadavky požární ochrany. Nicméně pro některé případy stavebních objektů nebo povrchových úprav nosných konstrukcí můžeme zásady odstupových vzdáleností poněkud zpřesnit. Tato kapitola se bude zabývat v dnešní době dvěma, asi nejaktuálnějšími případy. A to dřevostavbami a stavbami s přídavnou tepelnou izolací fasády pěnovým polystyrénem.

4.1 Dřevostavby

Jelikož se do hodnoty výpočtového požárního zatížení p_v nezapočítávají požárně dělící konstrukce a nosné konstrukce zajišťující stabilitu objektu musí se, pokud se nejedná o konstrukční systém nehořlavý přičíst k výpočtovému požárnímu zatížení p_v určitá hodnota, kterou se v českých normách kompenzuje výskyt nezapočítaných hořlavých hmot v objektu v těchto konstrukcích. Podle současného znění [4] se u smíšeného konstrukčního systému

připočítává k výchozímu požárnímu riziku hodnota $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, u hořlavého konstrukčního systému, který je tvořen výhradně z konstrukčních částí druhu DP 2 se připočítává $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ a u hořlavého konstrukčního systému, kde se vyskytují konstrukční části druhu DP 3 je to $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Pokud se budeme zabývat dřevostavbami, je nutné říci, že máme dva základní druhy dřevostaveb. První druh je klasická stavba postavena zcela z konstrukčních částí druhu DP3 (např. klasická roubenka). Druhý typ je objekt, který má obvodové konstrukce z materiálu druhu DP1, ale na svém vnějším líci má připevněn jako fasádu dřevěný obklad.

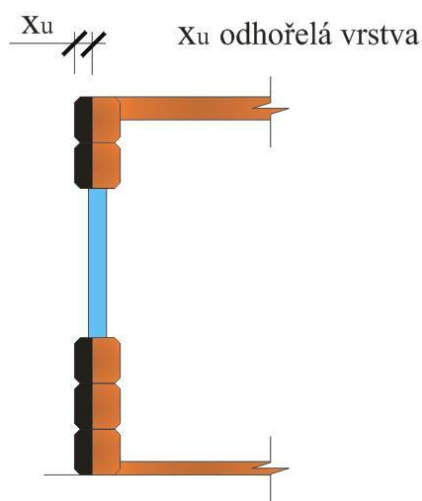
Pokud se budeme nyní zabývat prvním případem, což je tedy stavba, která má nosné konstrukce z materiálů druhu DP3 – tak nároky na nezbytnou bezpečnost takové stavby jsou zajištěny požadavkem na vyšší stupeň požární bezpečnosti (SPB). Vyšší návrhový SPB však nijak neovlivní parametry pro určení odstupových vzdáleností od těchto objektů, kdy při požáru budou odhořívat materiály tvořící nahodilé požární zatížení a současně také materiály tvořící nosné a požárně dělicí konstrukce příslušného objektu. Pominout tuto skutečnost by vedlo k tomu, že odstupová vzdálenost určená pouze podle standardního požárního rizika bude nedostatečná. Proto dnes příslušné ČSN navrhuji připočítat již zmíněnou hodnotu na kompenzaci hořlavých hmot v nosných a požárně dělicích konstrukcích. Tímto se nám zvýší účinná teplota sálání prostředí požáru T_N podle rovnice (6) a vzroste i výchozí hustota tepelného toku I_0 , podle rovnice (5), emitována požárně otevřenou plochou. Z čehož logicky vyplývá větší odstupová vzdálenost d pro danou sálavou plochu. Zda je normová kompenzace dostatečná (navíc v roce 2009 byla u objektů s hořlavými konstrukčními systémy snížena z hodnoty $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ na $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) se pokusím ověřit na simulačním modelu v následující kapitole.

Pokud by se jednalo o “normální” případ postupovali bychom od tohoto bodu již známým způsobem - v souladu s [4] se konstrukce obvodové stěny druhu DP3 zatřídí jako zcela požárně otevřená plocha a podle jejich rozměrů se vymezí odstupová vzdálenost. Tento postup je na straně bezpečnosti a vede k tomu, že dřevostavby vyžadují poměrně velké odstupové vzdálenosti a z hlediska investora vyšší nároky na velikost stavební parcely (např. obvodová stěna rodinného domu při $h_u = 6,0 \text{ m}$, $l_u = 10,0 \text{ m}$ a při $p_v = 70 + 15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, vychází max. odstup $d = 11,42 \text{ m}$).

Obvodové stěny klasické dřevostavby bývají zpravidla dost robustní a tím vlastně po jistou dobu brání okamžitému sdílení tepla do exteriéru. Při reálném průběhu to vypadá tak, že

plameny se budou šířit ven z požárně otevřené plochy (které představují okna nebo dveře) a s velkou pravděpodobností pak zapálí vnější povrch obvodové konstrukce. Ta bude postupně odhořívát z povrchové vrstvy určitou rychlostí, za současného uvolňování tepla a hoření se může dále šířit po celém vnějším povrchu obvodové stěny fasády až na střechu. Uvedený postup řešení připouští současné ČSN – např. doplňující poznámka u článku 5.4.9 ČSN 73 0810.

Postup pro tento výpočet je ve své podstatě jednoduchý, vyžaduje pouze znalost rychlosti odhořívání dřeva z povrchu do hloubky (její hodnoty jsou uvedeny např. v ustanovení 3.4.2 ČSN EN 1995-1-2) a objemové hmotnosti pro daný použitý materiál (konkrétní druh dřeva) a dobu, po kterou má objekt odolávat požáru. Z těchto hodnot určíme, kolik dřeva odhoří z 1 m^2 dané obvodové konstrukce při požáru za dobu požární odolnosti objektu. Poté opět dosadíme do rovnice (6), kde za proměnnou τ dosadíme hodnotu, která udává, kolik dřeva odhoří, a výslednou hodnotu rovnice (6) do rovnice (5) pro I_0 této plochy.



Obrázek 20: Tloušťka odhořelé vrstvy stěny [autor]

Postup výpočtu, který vede ke stanovení výchozí dílčí hustoty tepelného toku z plochy roubené dřevěné stěny je uveden na příkladu:

Příklad 3: jedno podlažní objekt, IV. SPB (požadovaná odolnost 45 minut), obvodové konstrukce – smrkové, objemová hmotnost $\rho = 430 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, délka obvodové stěny $l = 8 \text{ m}$, výška stěny $h_u = 3 \text{ m}$, rychlost odhořívání smrkového dřeva $v = 0,7 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$,

$$x_u = 45 \cdot 0,7 = 31,5 \text{ mm} = 0,0315 \text{ m} \rightarrow \underline{p} = 0,0315 \cdot 430 = \underline{13,54 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}}$$

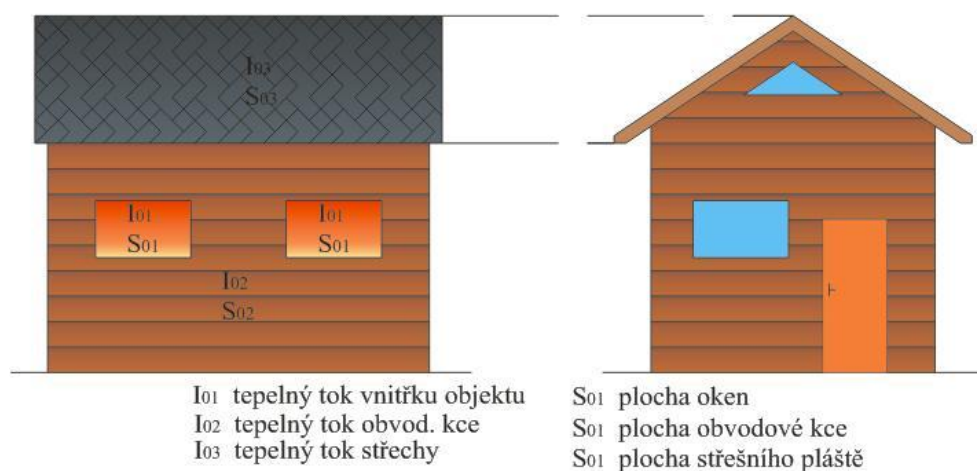
$$\underline{T_N} = 20 + 345 \log_{10} (8 \cdot p + 1) = \underline{723,4 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\underline{\text{Dílčí hodnota: } I_0} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_N + 273)^4 = 43\,582,7 \text{ W} = \underline{55,9 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}}$$

Jelikož tepelný tok sálající ven a plameny vyšlehující z požárně otevřené plochy jdou směrem nahoru, měla by se do výpočtu započítat výška stěny pouze od spodního okraje okna, ale my do výpočtu zavádíme celou výšku konstrukce od jejího spodního okraje. Je to z důvodu snahy dostat se na stranu bezpečnosti a pokrýt více vliv případných vyšlehujících plamenů. To stejné platí i pro emisivitu, jejíž hodnotu pro dřevo známe, ale opět dosazujeme $\varepsilon = 1,0$ pro přiklonění se na stranu bezpečnosti.

U klasických dřevostaveb nelze opomenout i další souvislosti – v obvodové stěně se většinou vyskytují okna nebo dveře bez požární odolnosti (tj. plochy s jinou hustotou tepelného toku vůči povrchu roubené konstrukce) a často také průmět hořlavého střešního pláště do roviny obvodové stěny. Zpravidla tak máme tři různé sálavé plochy s rozdílnou výchozí hustotou tepelného toku. Proto bude nezbytné spočítat průměrný tepelný tok \bar{I} pro celý průmět jedné strany objektu, to znamená pro požárně otevřené plochy oken či dveří, dále pro plochy obvodové stěny a pro průmět střechy. Ten se vypočítá váženým průměrem:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^j S_{oi} \cdot I_{oi}}{\sum S_{oi}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (17)$$



Obrázek 21: Dílčí sálající plochy [autor]

Od tohoto momentu už postupujeme jako u obecného případu, s tím že odstupová vzdálenost poté bude od celé šířky a výšky obvodové konstrukce.

Druhý případ, kdy je dřevěný obklad na konstrukci druhu DP1, se řeší obdobně. Tento případ je ovšem méně příznivější, co se týká uvolňování tepla z tohoto povrchu. Jelikož obklad nedoléhá na povrch zdi a tím mezi nimi vzniká volný prostor, kterým se v případě požárů šíří horké zplodiny hoření a nahřívají ho, což způsobí rychlejší šíření plamene po jeho povrchu i vyšší rychlost odhořívání. Na druhé straně však hoření po spálení výchozího obkladu po jisté době uhasne (ta závisí na jeho tloušťce). Rovněž zde musíme počítat

s odpadáváním hořících částí, jelikož je obklad pouze připevněn na obvodovou konstrukci a není celistvý po celé ploše (jednotlivé obkladové desky).

4.2 Stavby s přídatnou tepelnou izolací polystyrénem

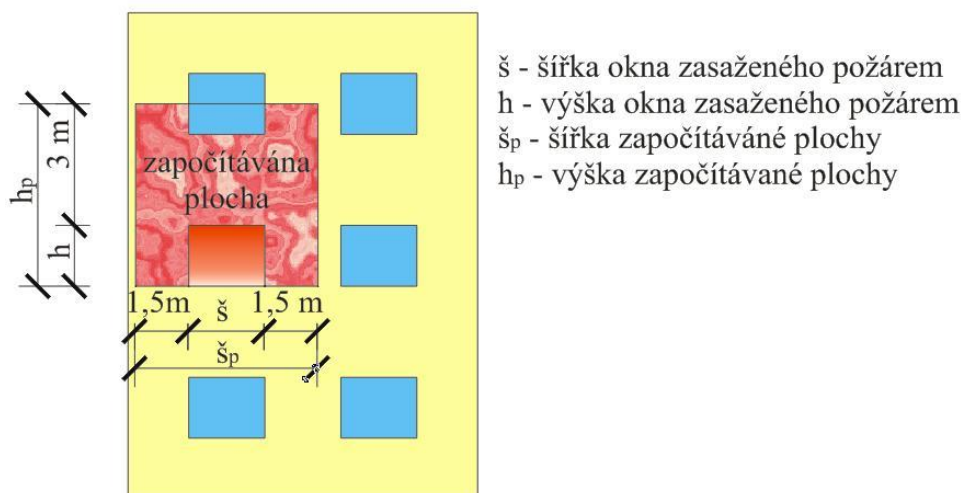
V současné době je velmi rozšířený trend zateplování domů polystyrén, který je podpořen státními dotacemi z hlediska dosažení úspor. Je to způsobeno hlavně potřebou revitalizace panelových domů, kterých je u nás okolo 200 tisíc. Pokud k tomu přičteme starší rodinné domy, tak opravdu zjistíme, že se skutečně jedná o téma, kterému se je potřeba věnovat.

Tomu, že do požární výšky objektu $h \leq 12$ metrů nejsou kladené žádné požadavky na zateplovací materiál a že od požární výšky objektu $h \geq 22,5$ metru se musí použít jako zateplovací materiál třídy reakce na oheň min. A2 se v této práci nepřihlíží, pouze se posuzuje polystyrén jako zateplovací materiál. Stejně jako se nevěnuje pozornost tomu, že by se mělo posoudit, zda se jedná o požárně otevřenou plochu podle rovnice (11).

Polystyrén používaný na zateplování budov je třídy reakce na oheň E ($22,5 \text{ m} > h > 12 \text{ m}$) a F ($h \leq 12 \text{ m}$).

Postup výpočtu odstupových vzdáleností je v zásadě totožný s postupem pro dřevostavby, který je uveden výše, ale jsou zde určité rozdíly.

Plocha, zasažena případným požárem, která se zavádí do výpočtu, a bude se brát za sálavou plochu, pro kterou se bude určovat odstupová vzdálenost, se určí následovně. Pro třídu reakce na oheň E, ve vertikálním směru se započítává výška okna (otvoru) ze kterého se šíří požár, která je zvětšena podle výsledků zkoušek podle normy ISO 13785-1:2002 o výšku zhruba 3 metry. V horizontálním směru se započítává šířka daného okna (otvoru), ke které je na každou stranu připočtena hodnota 1,5 metru. Jedná se o opět o stanovenou hodnotu podle výsledků zkoušek normy ISO 13785-1:2002. Je to z toho důvodu, že tento polystyrén již obsahuje jisté množství retardačních příměsí, které po určité době mimo dosah plamenů postupně zamezí dalšímu šíření požáru. Od této plochy se musí odečíst plocha oken, která do ní zasahuje, ale nešíří se z ní požár (na obrázku je to modrá plocha okna).



Obrázek 22: Plocha zasažená požárem (polystyrén třídy reakce na oheň E) [autor]

Pro třídu reakce na oheň F by se mohlo postupovat obdobně, ale tento polystyrén už nemusí obsahovat retardační přísady, takže požár bude stále pokračovat, dokud nedorazí k okrajům budovy. Jelikož při hoření se polystyrén spéká a vznikají kapičky hořícího plastu, které vlivem gravitace mohou po fasádě sjíždět níže pod spodní okraj otvoru zasaženého požárem a zapálit rovněž obklad i v těchto místech, nutno ovšem podotknout, že toto může nastat i u polystyrénu třídy reakce na oheň E. Proto pro tento druh polystyrénu započítáváme celou plochu obvodové konstrukce.



Obrázek 23: Odhořívání polystyrénu směrem dolů [6]

4.2.1 Opatření proti šíření požáru po fasádě

Pokud zamezíme šíření požáru, odpadne nám nutnost určovat odstupovou vzdálenost. V normě ČSN 73 0810:2009 byly zavedeny opatření k tomu, aby se zabránilo rozšíření požáru po fasádě vertikálně o již zmíněné 3 metry. Z důvodu, že toto rozšíření zpravidla zasahuje do dalšího požárního úseku daného objektu. Jedná se v podstatě o vložení

vodorovných pásů výšky 0,5 m nad nadpraží oken jednotlivých pater. Tyto pásy jsou z materiálů třídy reakce na oheň A1 nebo A2 (např. minerální vlna). Přesné požadavky jsou uvedeny v kapitole 3.1.3 bod 4 ČSN 73 0810:2009 a grafické znázornění je uvedeno v příloze 2 na obrázku P2.1.

Toto normové řešení ovšem nepokrývá možnost výskytu stékajících kapiček hořícího polystyrénu směrem dolů. Tuto možnost eliminujeme přidáním nehořlavých pásů (minerální vlny) kolem oken ve svislé poloze, tak aby mezi ostěním a přidaným nehořlavým pásem nebyla žádná mezera. Šířka pásů by opět byla 0,5 m a výškově by stačilo, kdyby začínaly v 1/3 výšky na hranici neutrální roviny, ale abychom se dostali na stranu bezpečnosti, tak by byly přes celou výšku okna. V normě je toto řešení taktéž uvedeno, ale pouze jako jedna z možností. Rovněž je to uvedeno pro stavby s požární výškou $h > 12\text{m}$. Myslím si, že by mělo být toto řešení dáno jako závazné a to pro všechny objekty s požární výškou $h \leq 22,5\text{m}$. Řešení je graficky znázorněno v příloze 2 na obrázku P2.2. Jedná se sice o poněkud dražší řešení, ale zato bezpečnější.

5 Model

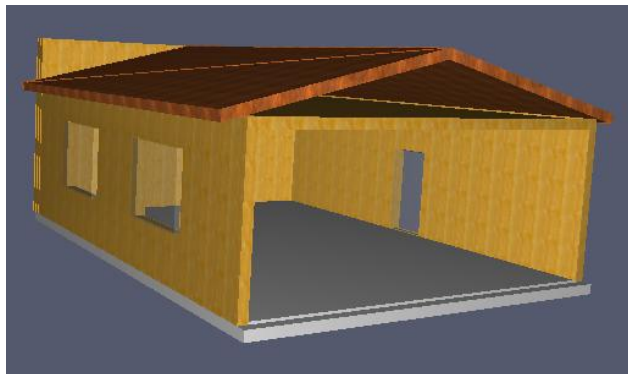
V této části práce budou na dvou případech ověřeny některé parametry vstupující do výpočtu požárně nebezpečného prostoru a vymezení odstupových vzdáleností.

5.1 Zadání modelu

Z nabízených možností modelování rozvoje požáru v objektech i v navazujícím exteriéru, byl pro tuto práci zvolen simulační program od National Institute of Standards and Technology (NIST). Program je k dispozici na internetu ke stažení zdarma a je zmíněnou institucí také pravidelně aktualizován. Pro výpočet byla použita verze FDS 5.3.

Pro posuzování jsem navrhl geometricky stejný jednopodlažní objekt o rozměrech 10 x 8 metrů, světlá výška $h_s = 3,0\text{ m}$ se sedlovou střechou. Větrací otvory v objektu jsou navrženy tak, aby odpovídaly zhruba 10% podlahové plochy (v konkrétním případě dveře 0,9 x 2 m a dvě okna 1,5 x 1,8 m), a generovaly parametr odvětrání $F_0 = 0,04\text{ m}^{1/2}$, který odpovídá větracímu režimu pro tepelné namáhání podle normové teplotní křivky (ověření parametrů odvětrání F_0 bylo provedeno podle zásada ČSN 73 0804, $S = 72,92\text{ m}^2$, $S_o = 7,2\text{ m}^2$, průměrná $h_o = 1,625\text{ m}$, $S_k = 242\text{ m}^2$, a $F_0 = 0,0379\text{ m}^{1/2}$). Grafické znázornění půdorysu a řezu základního modelu je na obrázku P3.1 v příloze 3.

Pro snadnější tvorbu výchozích souborů simulačního modelu FDS, jsou zpracovány komerční obslužné programy. Zvolil jsem 30 denní testovací verzi od společnosti Thunderheadeng, s obchodním názvem Pyrosim. V tomto grafickém prostředí vypadá základní 3D model následovně:



Obrázek 24: Schéma 3D základního modelu [autor]

5.1.1 Navýšení požárního rizika pro odstup u dřevostaveb

V prvním případě bude na jednoduché dřevostavbě ověřeno, zda je na straně bezpečnosti snížení připočítávaného požárního zatížení u konstrukčního systému hořlavého. Toto snížení bylo zavedeno v novelizované ČSN 73 0802:2009, kdy se k požárnímu riziku místo hodnoty $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ připočítává pouze $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Pro srovnání budou provedeny dvě simulace – jedna pro dřevěné obvodové konstrukce a druhá pro geometricky totožný objekt, ale s nehořlavými, betonovými konstrukcemi. Výsledkem bude porovnání, o kolik přispívají odhořívající vnitřní části dřevěných konstrukcí ke zvýšení vnitřní teploty uvnitř posuzovaného prostoru a následně na výpočtové hustotě radiačního tepelného toku.

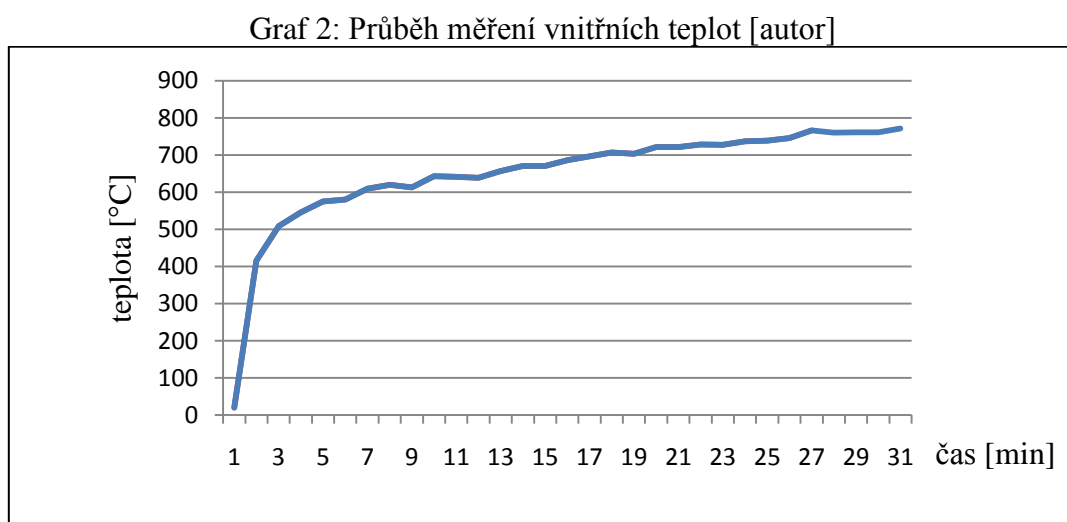
Simulační model je založen na nahodilém požárním zatížení o velikosti $p_n = 30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, které bylo simulováno hranolky z jehličnatého dřeva (hustota dřeva $\rho = 450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, výhřevnosti $H = 16,75 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, dílčí rozměr dřevěného prvku je $30 \times 30 \times 1000 \text{ mm}$). Požární zatížení je uspořádáno do 4 hranic, $1000 \times 2000 \times 1230 \text{ mm}$ (délka x šířka x výška, při volné mezeře mezi prvky 30 mm). Výchozí ohnisko představuje lokální požár o ploše 1 m^2 s povrchovou teplotou 900°C (dle přílohy C rovnice C.2 [1]), které z $\frac{1}{4}$ své plochy zasahuje pod jednu z hranic jehličnatého dřeva (viz obrázek P3.2 v příloze 3, graficky v 3D na obrázku P3.3)

5.1.2 Podrobné posouzení procenta požárně otevřené plochy

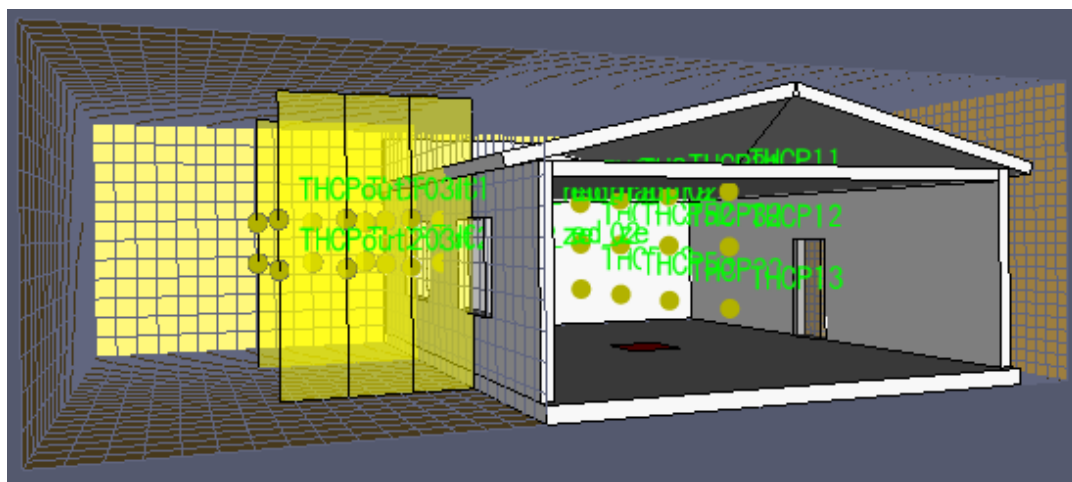
Ve druhém případě bude použit totožný objekt co do rozměrů, ale dřevěné stěny a strop budou nahrazeny betonovými. Zde budu zkoumat do jaké vzdálenosti dvou oken od sebe, by se mělo počítat každé okno jako samostatná sálavá plocha, a od jaké vzdálenosti mezi nimi by se měly dispozičně blízká okna počítat jako jedna společná sálavá plocha (tj. určovat procento

požárně otevřené plochy p_o). Doba simulace byla zvolena 30 minut, což odpovídá běžné návrhové době požární odolnosti otvorů (pro III. respektive IV. SPB a současně i s ohledem na dobu trvání simulačního výpočtu).

Aby simulační proces co nejvíce odpovídal normovým podmínkám, bylo tepelné namáhání v kontrolním objektu určeno definováním nárůstu teploty, podle normové teplotní křivky, a to vůči celé půdorysné ploše objektu. Výsledek průběhu měření na kontrolním termočlánku THCP31 pod stropem objektu je na následujícím grafu.



Kromě termočlánků pro měření vnitřní teploty, byly osazeny také termočlánky na vnější straně objektu a v exteriéru (např. ve středu sálavé plochy obou oken, v nadpraží oken, v ose meziokenního sloupku a to v polovině výšky a v nadpraží). Detail osazení termočlánků je na obrázku 25. Kromě toho byly ve vnějším prostředí osazeny zařízení pro měření tepelného toku. Měřicí zařízení za rovinou odstupové vzdálenosti, která pro daný případ ($p_v = 30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, šířka dílčího otvoru 1,8 m a výška 1,5 m) činila $d = 1,78 \text{ m}$, již nebyly osazovány.



Obrázek 25: Rozmístění termočlánků [autor]

5.2 Vyhodnocení modelu

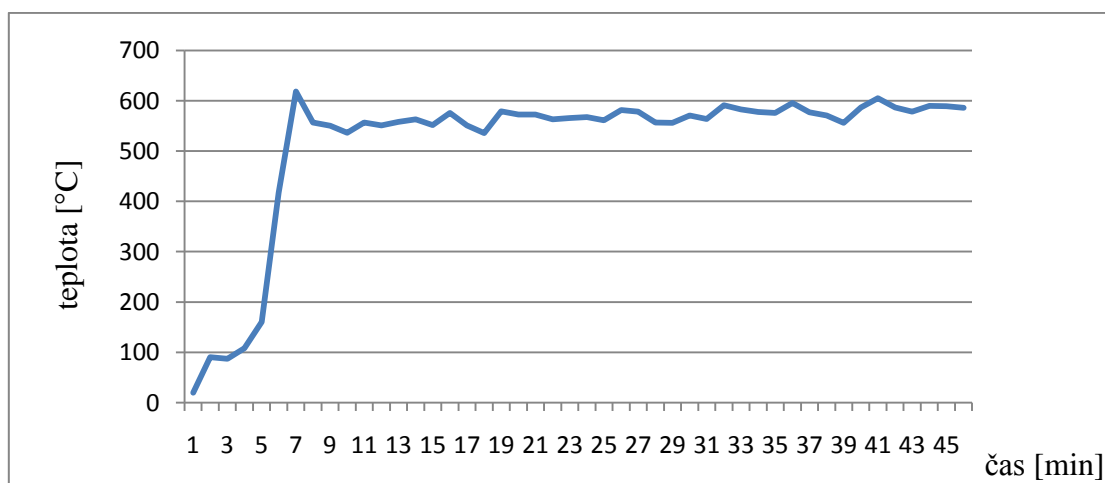
Kromě výpočtů simulačního modelu FDS 5.3 byl pro názornost s výstupy získaných hodnot do rozsáhlých souborů .xls použit přídatný grafický program Smokeview 5.3.10.

5.2.1 Navýšení požárního rizika pro odstup u dřevostaveb

Rozhoření vlastního požáru ve fázi rozvoje, bylo provedeno za tepelných podmínek lokálního požáru, které působily první 2 minuty po zahájení simulace. Pak byl zdroj hoření “vypnut” a vlastní odhořívání již probíhalo samovolně podle konkrétních podmínek. V obou případech byl výchozí větrací režim následující: dveře představovaly trvalý větrací otvor a výplň otvorů běžným tabulovým sklem se porušila v návaznosti na vnitřní teploty (limit tabulového skla pro destrukci nepřesáhl 120°C). Reakční parametry, byly nastaveny na hoření dřeva na bázi celulóзовého materiálu viz [3]. Simulační doba činila 45 minut.

S ohledem na dlouhou dobu výpočtu simulace byla nejdříve provedena varianta odhořívání požárního zatížení p_n v betonovém objektu. Grafické zobrazení teplot viz graf 3.

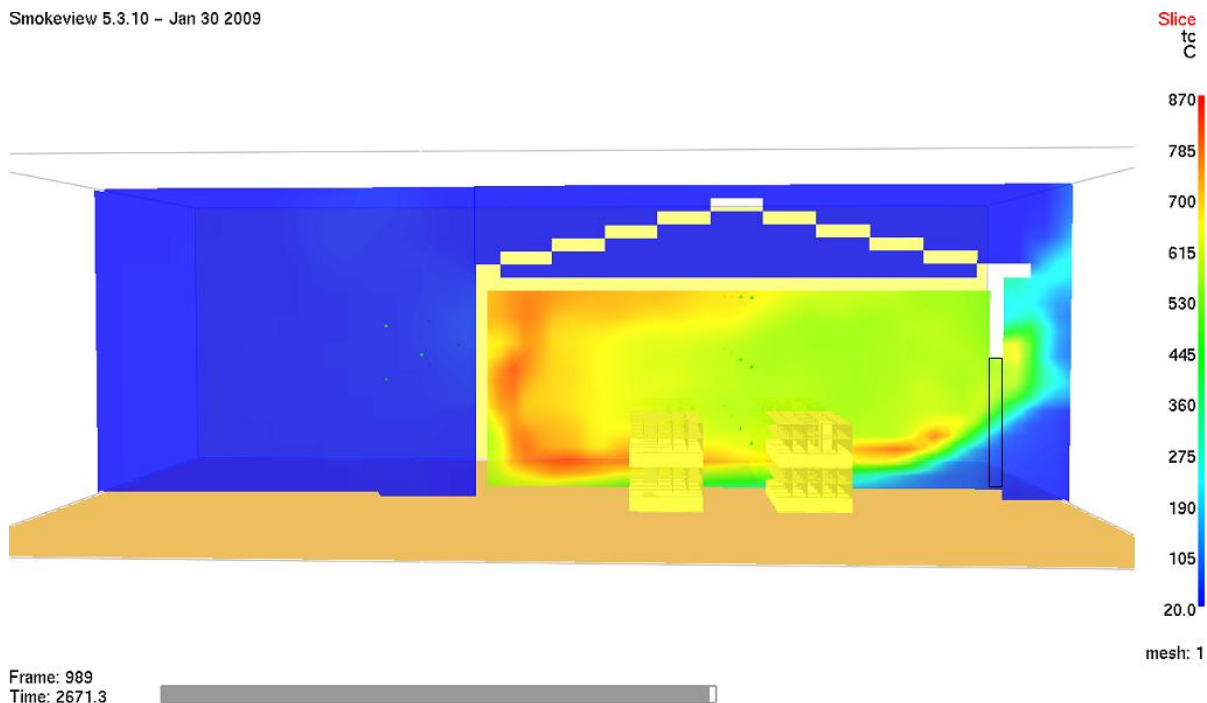
Graf 3: Průběh vnitřních teplot v konkrétním nehořlavém objektu [autor]



Z průběhu grafu je zřejmé, že výsledek se neblíží standardní logaritmické teplotní křivce. Provedl jsem celkem 5 další kontrolních výpočtů s jinou velikostí větracích otvorů. A mohu konstatovat následující: nejdříve je požár řízen povrchem paliva (tj. podle grafu 3 do cca 7 minuty), kdy je dostatek kyslíku k hoření a nárůst vnitřní teploty odpovídá spíše parabolické závislosti pro lokální požár podle rovnice E.5 [1]. Od určitého bodu cca 550°C nastává vlivem předeřívání hranolků dřeva přebytek pyrolýzních plynů uvnitř posuzovaného prostoru a k viditelnému plamennému hoření (podle grafiky Smokeview) dochází zejména v místech otvorů v obvodové stěně (tj. při jejich styku s kyslíkem). Od výše uvedeného zlomového času je požár v posuzovaném simulačním objektu jednoznačně řízen odvětráním a teplota se dále

nezvyšuje, bez ohledu na hodnotu požárního zatížení. Limitujícím je pouze velikost větracích otvorů a jejich geometrická plocha (tj. 10% podlahové plochy) je při praktickém pozorování snížena o cca 1/3 vlivem proudících plynů z exteriéru do interiéru. Tento jev zřejmě způsobuje dosažení jiné, než očekávané výpočtové teploty.

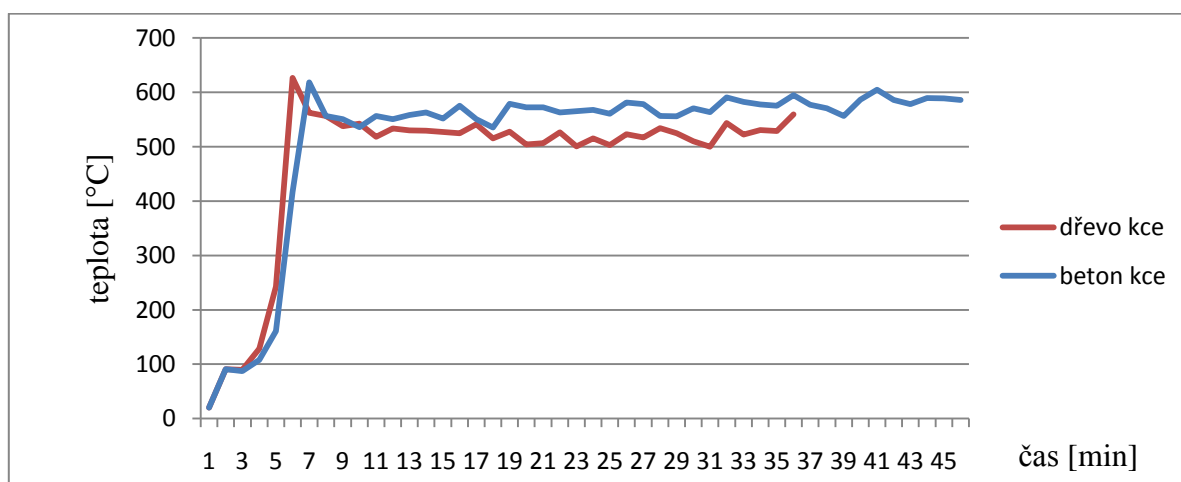
Smokeyview 5.3.10 – Jan 30 2009



Obrázek 26: Ukázka rozložení teplot ve vztahu k dveřnímu otvoru [autor]

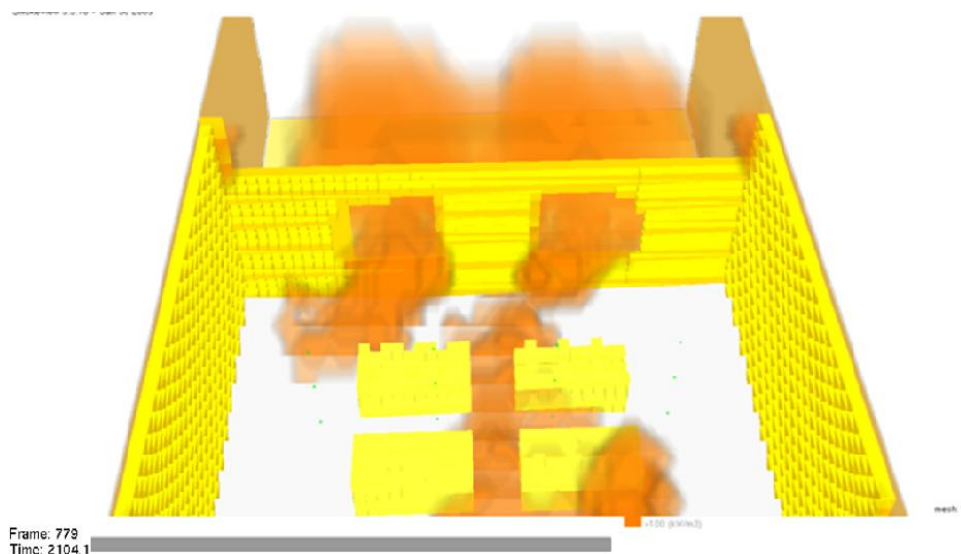
Následně byla provedena simulace pro geometrický stejný objekt s dřevěnými nosnými konstrukcemi. Srovnání vnitřních teplot je provedeno na následujícím grafu.

Graf 4: Porovnání průběhu vnitřních teplot daného objektu [autor]



Ze srovnání obou grafů je zřejmé, že v době požáru řízeného povrchem paliva je vliv odhořívání dřeva v nosných stavebních konstrukcích na vyšší teplotu zřejmý, po přechodu do fáze řízené odvětráním naopak teplota (vůči betonovým konstrukcím) dokonce klesá (zřejmě

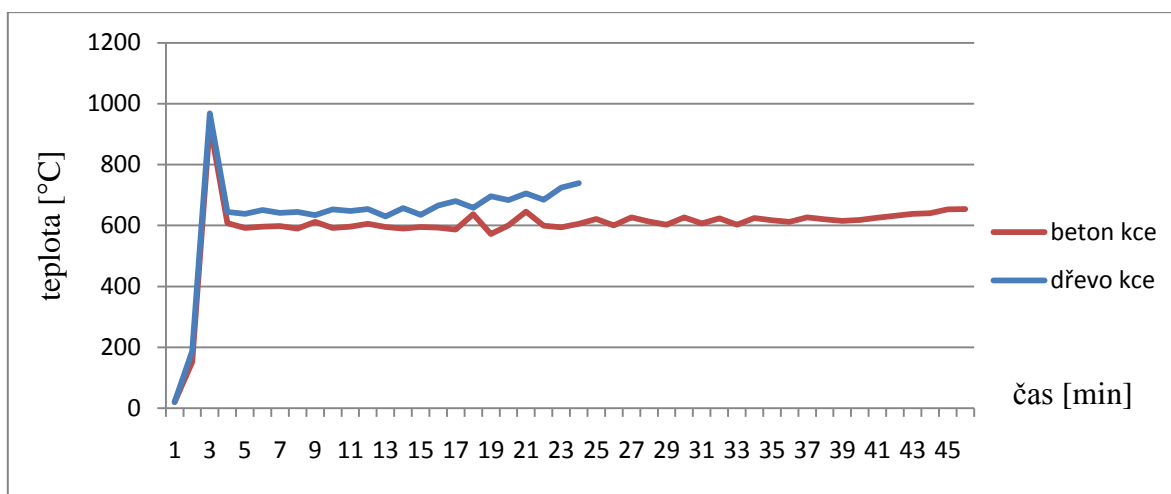
je to způsobeno vyšší koncentrací pyrolýzních plynů ve vztahu ke kyslíku) a začíná vzrůstat až po cca 25 minutách, kdy se již projevuje zvětšování větracích otvorů vlivem odhořívání ostění (podrobnost viz obrázek 27).



Obrázek 27: Odhořívání ostění [autor]

Jenže při úplném odhoření konstrukce v místě ostění okna, běžící program zobrazil hlášení “numerická nestabilita“ a simulaci zastavil. Pro kontrolu jsem ještě provedl 2 nové srovnávací příklady, na bázi reakčních podmínek propanu (tj. standart FDS). Opět se program zastavil po prohoření ostění otvorů, které vlivem vyšší výhřevnosti výchozích reakčních podmínek nastalo dříve. Současně je však z grafu 5 zřejmý nárůst teploty vlivem zvětšených větracích otvorů.

Graf 5: Porovnání teplot pro hoření na bázi reakčních podmínek propanu [autor]

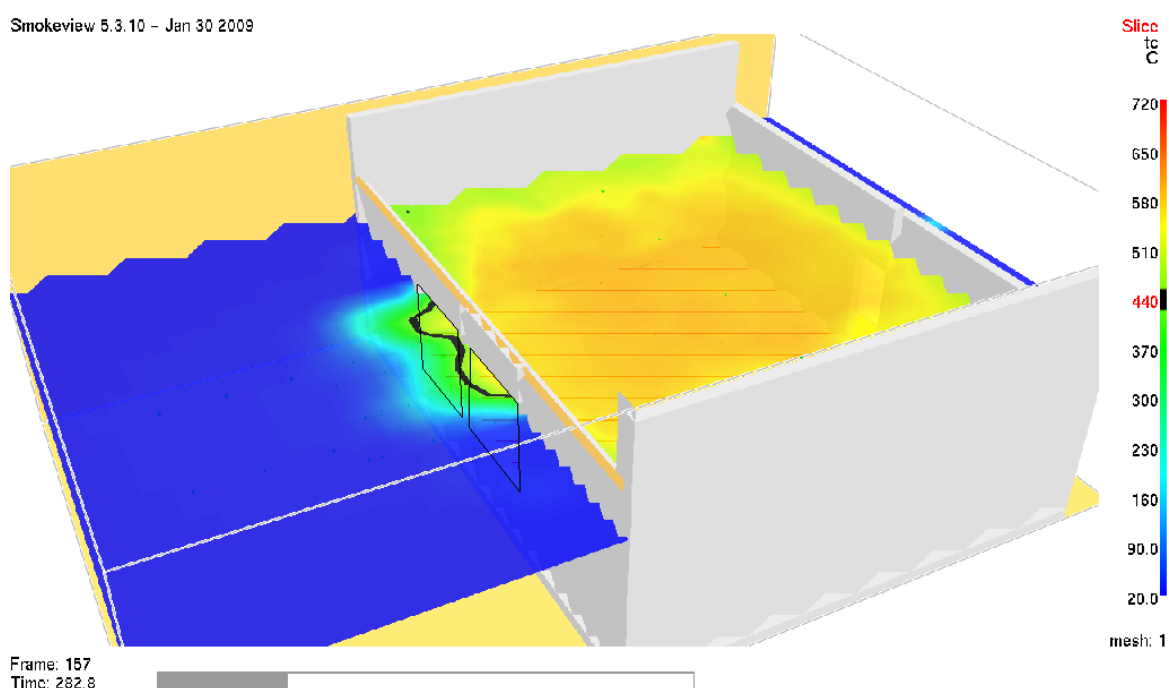


Vzniklý problém byl dotázán na zákaznické podpoře společnosti NIST., ale dosud nebyl zodpovězen.

5.2.2 Podrobné posouzení procenta požárně otevřené plochy

První modelový případ byl proveden pro meziokenní sloupek šířky 200 mm. Za hodnotící parametr jsem použil teplotu 440°C, která právě odpovídá spodní hranici, při které již obvodovou stěnu nebo její část považujeme za částečně požárně otevřenou plochu (tj. hustota tepelného toku $I_k = 15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$). Ze simulace je zřejmé, že již do 5 minut od začátku plně rozvinutého požáru, dosáhne teplota na meziokenním sloupku výchozí limitní hodnotu. Program umí zvolenou teplotní hranici sám vyhledat a vymežit - na obrázku je tato hranice zobrazena tučnou čarou černé barvy. Pro srovnání byla zvolena horizontální rovina vedená v úrovni nadpraží okna, což je z hlediska možného tepelného působení nejméně příznivý případ.

Smokeview 5.3.10 - Jan 30 2009



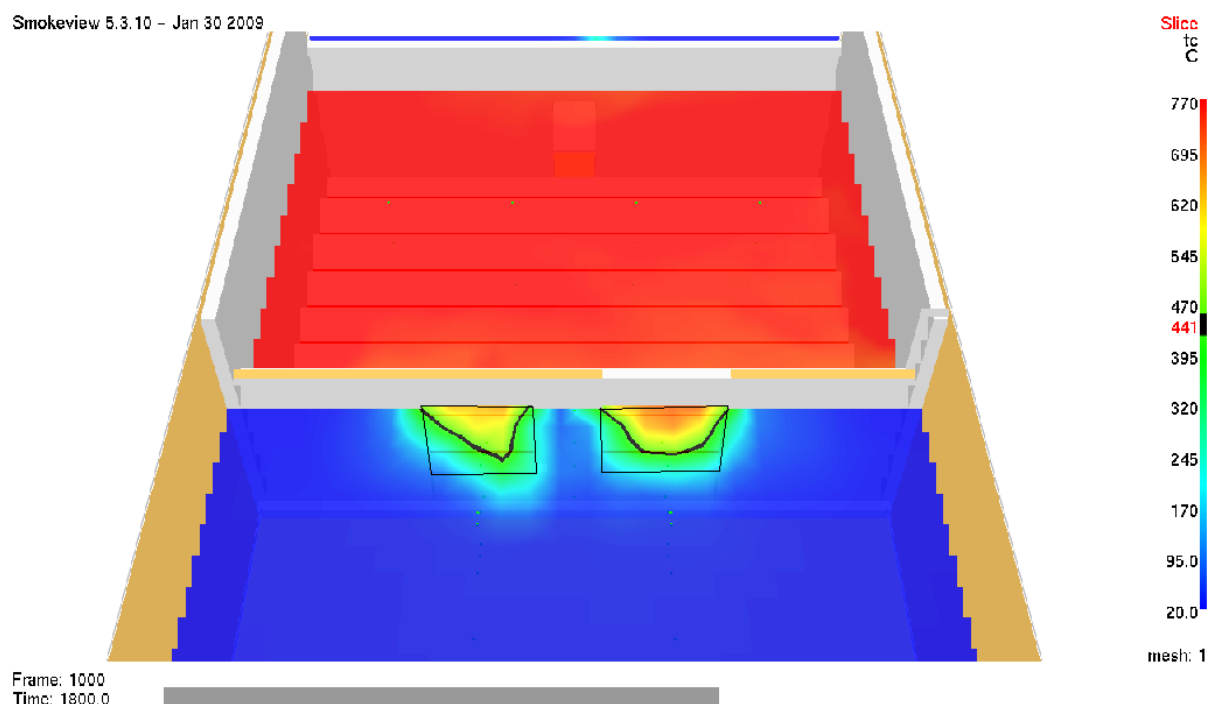
Obrázek 28: Výsledek pro meziokenní sloupek 200 mm a čas 282 s [autor]

Druhý výpočetní model byl pro meziokenní sloupek širší 400 mm. I pro tuto šířku je v návrhové době 30 minut dílčí plocha meziokenního sloupku částečně požárně otevřenou plochou – v čase cca 11 minut. Obrázek P3.4 v příloze 3.

Třetí výpočetní model byl pro meziokenní sloupek širší 600 mm. I pro tuto šířku je v návrhové době 30 minut dílčí plocha meziokenního sloupku částečně požárně otevřenou plochou – v čase cca 22 minut. Obrázek P3.5 v příloze 3.

Čtvrtý výpočetní model byl pro meziokenní sloupek širší 800 mm. Pro tuto šířku v návrhové době 30 minut již není dílčí plocha meziokenního sloupku částečně požárně otevřenou plochou (viz obrázek 29). Pro kontrolu správnosti je připojena také dílčí rovina řezu ve svislé

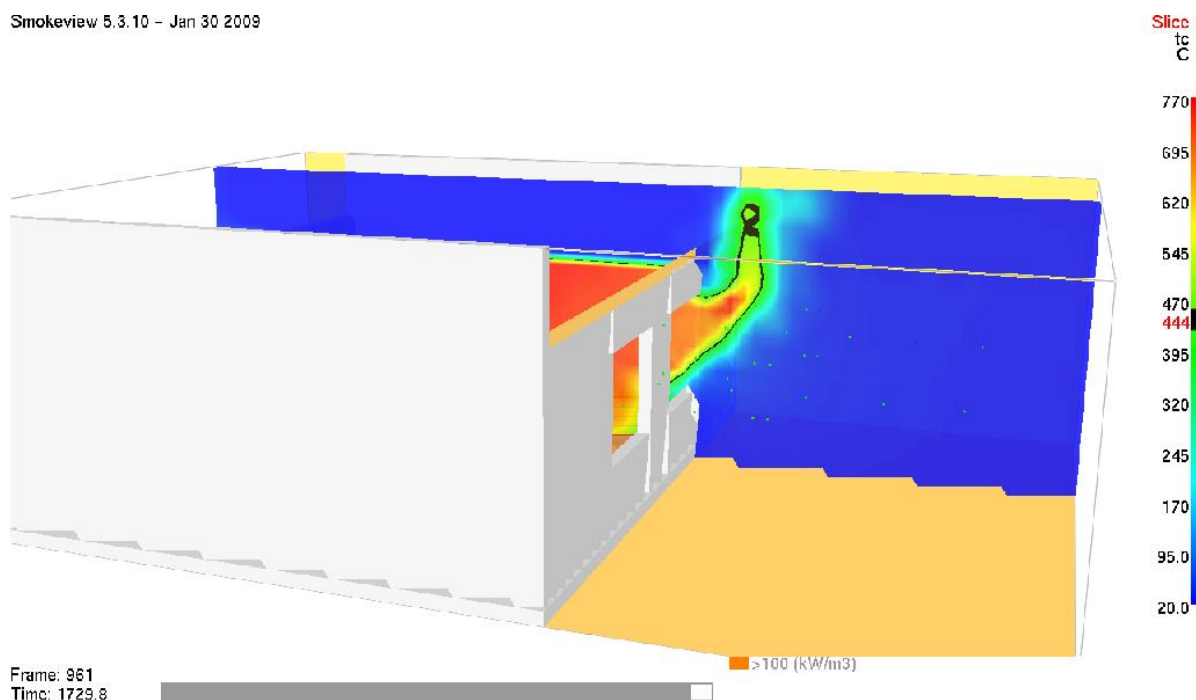
rovině (obrázek P3.6 v příloze 3) vedené v polovině meziokenního sloupku (ze zobrazení je patrné, že dochází ke sdílení tepla horizontálním směrem, v žádném případě však není překročena zvolená výchozí hranice 440 °C).



Obrázek 29: Výsledek pro meziokenní sloupek 800 mm a čas 1800 s [autor]

Pro definitivní kontrolu byl proveden také čtvrtý výpočetní model pro meziokenní sloupek šíře 1 m. I tentokrát se prokázalo, že v návrhové době 30 minut dílčí část obvodové stěny mezi okny již není požárně otevřenou plochou. Zobrazení pro horizontální i vertikální středovou rovinu je uvedeno na obrázcích P3.7 a P3.8 v příloze 3.

Pro srovnání je u téhož modelu zobrazena svislá rovina řezu, procházející středem dílčí sálavé plochy. V návrhové době požární odolnosti 30 minut je zřejmé, že plameny a horké plyny přesahující limitní teplotu 440°C se uvolňují také do nadpraží okna do kritické výšky cca 1,5-2 metry (viz obrázek 30). Vertikální posouzení v části nadpraží okna nebylo předmětem této práce, ale bylo by vhodné se tímto případem dále podrobněji zabývat (např. vliv předstupující konstrukce před obvodovou stěnu, vliv větracích otvorů na protilehlé straně apod.)



Obrázek 30: Velikost vyšlehujících plamenů [autor]

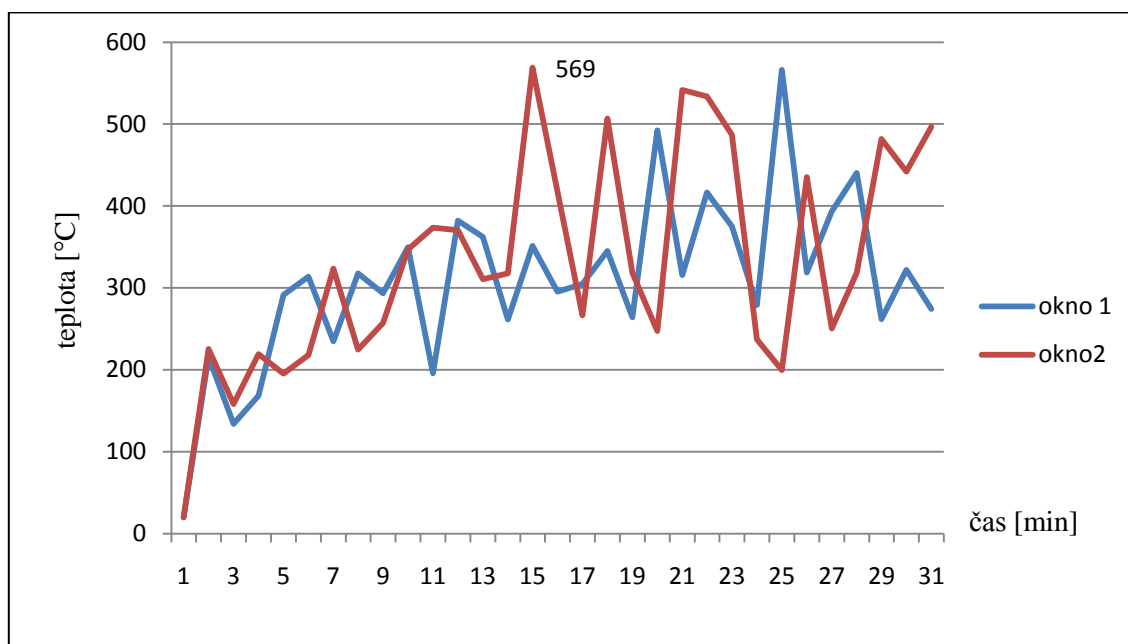
Současně je provedeno posouzení ve vertikální rovině vedené souběžně s povrchem delší obvodové stěny objektu. V tomto pohledu je zřejmé, že skutečná sálavá plocha se výškově posouvá směrem nahoru (viz dolní cca 1/3 okna); v horní části je omezena předstupující částí betonové konstrukce stropu. Obrázek P3.9 v příloze 3.

Z porovnání výše uvedených modelů vyplývá, že v konkrétním případě se okenní otvory mohou posuzovat pro určení odstupových vzdáleností jako dílčí sálavé plochy, pokud šířka meziokenního sloupku je větší než cca 0,5 násobku výšky otvoru h_o .

Dalším dílčím závěrem ve vztahu k odstupovým vzdálenostem je teplota, ze které se určuje hustota tepelného toku. Pro návrhovou dobu 30 minut představuje vstupní hodnotu standardní vnitřní teplota normového požáru (generuje pro výpočtových 840 °C již určenou odstupovou vzdálenost 1,78 m). Při tom ve fázi plně rozvinutého požáru se předpokládá, že vnitřní teplota je v celém posuzovaném hořícím prostoru (zpravidla požárním úseku) stejná – tento předpoklad potvrzují i naměřené hodnoty z termočlánků umístěných 1,0 m, 2,0 m a 2,9 m nad podlahou viz graf P3.1 v příloze 3 – maximální teplota naměřená při simulaci 800 °C generuje pro dílčí sálavou plochu (okno) odstupovou vzdálenost $d = 1,61$ m.

Z kontrolních měření dvou termočlánků přímo ve středu dílčích sálavých ploch (oken) vychází maximální naměřená hodnota 569°C (podrobnost viz příložený graf 6). Těto hodnotě pak odpovídá odstupová vzdálenost $d = 0,66$ m.

Graf 6: Průběh teplot ve středu sálavé plochy [autor]



6 Shrnutí

Obecné závěry vyplývající z této práce je možné formulovat následovně:

- Hranice požárně nebezpečného prostoru vymezovat podrobným postupem.
- V konkrétních případech důsledně rozlišovat, v jaké vzájemné prostorové dispozici se nachází sálavá a příjmová plocha.
- Pro dispozici v ostrém úhlu navrhuji upřesnit pravidla, kdy výpočet nedává matematicky odpovídající výsledky (tj. v intervalu úhlů 0-20°) – viz příloha 1.
- V případě procenta sálavé plochy používat tento parametr jen pokud je vzájemná vzdálenost dispozičně blízkých sálavých ploch menší než 0,5 násobek výšky sálavé plochy (jinak používat stanovení odstupové vzdálenosti od jednotlivých sálavých ploch jednotlivě).
- Při rozdílných hodnotách radiace dílčích sálavých ploch, které se vyskytují v jednom průmětu do roviny obvodové stěny, používat k určení výpočtové hustoty sálavého toku metody váženého průměru.
- Ze simulačních modelů je zřejmé, že problematiku vyhodnocení odstupové vzdálenosti ve vertikálním směru, včetně vyhodnocení vlivu výšky “vyšlehávajících“ plamenů na výslednou odstupovou vzdálenost, bude nutné zpracovat samostatnou, podrobnou prací.

- U odstupových vzdáleností dřevostaveb je možné používat k určení odstupové vzdálenosti podrobného posouzení s přihlédnutím k maximálnímu množství odhořelé látky z povrchu jinak celistvé obvodové stěny (tj. neposuzovat ji jako zcela požárně otevřenou plochu).
- V případě určení odstupových vzdáleností od zateplení fasád s hořlavou polystyrénovou izolací věnovat této problematice samostatnou práci, ve které se mimo jiné posoudí předpokládaná hustota tepelného toku, délkový a výškový rozměr případné sálavé plochy a také možné šíření požáru směrem pod úroveň sálavé plochy vlivem působení gravitace na hořící kapky.
- V případě navýšení intenzity požáru od hořících částí nosných a požárně dělících částí objektů, ve vztahu k určení odstupové vzdálenosti bude nutné zpracovat samostatnou práci, která se bude zabývat zejména dvěma problémy – vznik a rozvoj požáru v prostorově rozlehlých nebo dobře větraných objektech (ve kterých bude režim požáru řízen povrchem paliva) a dále postihnout případy kdy se výchozí dílčí sálavá a současně větrací plocha zvyšuje vlivem odhořívání ostění otvorů.
- Zvážit možnost výpočtu odstupových vzdáleností podle skutečné teploty sálavého povrchu (zatím se provádí pro případ, kdy teplota sálavého povrchu = teplota vnitřního požáru), zejména u modelových požárů.

7 Závěr

Určování odstupových vzdáleností se provádělo v minulosti podle tabulkových hodnot, které jsou v příslušných normách ČSN, které byly experimentálně stanoveny. Bylo to z důvodu nedostatku kvalitní výpočetní techniky. Proto výsledné odstupové vzdálenosti byly často předimenzovány. Proto v dnešní moderní době, kdy už nemůžeme zbytečně plýtvat místem a tím pádem i penězi za pozemek, by se tyto vzdálenosti měly stanovovat pro každý konkrétní případ podle popsáných fyzikálních zásad.

Cílem bakalářské práce bylo upřesnění výpočtu a stanovování odstupových vzdáleností pro účely požární ochrany. V souladu s tímto cílem byly v práci podrobně řešeny a upřesněny parametry vstupující do výpočtů odstupových vzdáleností, zejména polohový faktor a vzájemná dispozice sálavé a příjmové roviny. Dále byl uveden postup, pro řešení odstupových vzdáleností pro speciální případy jako jsou dřevostavby a obklad objektu pěnovým polystyrénem.

Pomocí modelů byly ověřeny některé zavedené předpoklady pro určování odstupových vzdáleností. Z jejich výsledků vyplývá velký potenciál a možné budoucí využití simulačních modelů v požární praxi.

Tato práce může sloužit jako podklad pro budoucí podrobné posouzení dané problematiky odstupových vzdáleností.

8 Literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-2:2004 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru.
- [2] REICHEL, Vladimír. *Požární bezpečnost staveb II.* první. Praha: Federální ministerstvo vnitra, 1989. 129 s.
- [3] REICHEL, Vladimír. *Zabraňujeme škodám.* 1989. Praha: SNTL, 1989. Navrhování požární bezpečnosti výrobních objektů část IV., s. 148.
- [4] ČSN 73 0802:2009 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty
- [5] *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.* Third Edition. NFPA, 2002. ISBN 087765451-4.
- [6] *Požáry.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.pozary.cz/>>.
- [7] *Stomix.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-04]. POKYNY PRO NAVRHOVÁNÍ. Dostupné z WWW: <<http://www.stomix.cz/pdf/cz/pokyny/ppn-alfa-beta-2010.pdf>>.
- [8] *František Pelc: Požární bezpečnost staveb* [online]. 2009 [cit. 2010-03-12]. Dostupné z WWW: <<http://pelcfrantisek.cz/>>.

9 Seznamy

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Základní složky tepelné bilance při požáru	3
Obrázek 2: Dopad hořících částí	4
Obrázek 3: Šíření tepla do prostoru.....	5
Obrázek 4: Zvětšení plochy sálání díky vyšlehnutí plamenů.....	6
Obrázek 5: Schematické znázornění prostorového směru sálání	7
Obrázek 6: Přenos sálavého tepla mezi dvěma nekonečně malými plochami	10
Obrázek 7: Sálající plocha s body určujícími polohový součinitel	11
Obrázek 8: Přijímající povrch v rovině rovnoběžné s rovinou sálajícího povrchu	12
Obrázek 9: Rozdělení sálavé plochy na stejné dílčí plochy	12
Obrázek 10: Srovnávací body	13
Obrázek 11: Podrobný způsob výpočtu	14
Obrázek 12: Zjednodušený postup výpočtu	14
Obrázek 13: Srovnání podrobného a zjednodušeného výpočtu	15
Obrázek 14: Kombinace zjednodušeného a podrobného výpočtu	15
Obrázek 15: Srovnání metod určení odstupových vzdáleností	15
Obrázek 16: Rozdělení sálavé plochy na dílčí plochy	17
Obrázek 17: Vymezení sálavé plochy S_p	18
Obrázek 18: Určení vertikální odstupové vzdálenosti	20
Obrázek 19: Vymezení požárně nebezpečného prostoru střeš podle normy	21
Obrázek 20: Tloušťka odhořelé vrstvy stěny	23
Obrázek 21: Dílčí sálající plochy	24
Obrázek 22: Plocha zasažená požárem (polystyrén třídy reakce na oheň E).....	26
Obrázek 23: Odhořívání polystyrénu směrem dolů	26
Obrázek 24: Schéma 3D základního modelu	28
Obrázek 25: Rozmístění termočlánků	29
Obrázek 26: Ukázka rozložení teplot ke vztahu k dveřnímu otvoru.....	31
Obrázek 27: Odhořívání ostění	32
Obrázek 28: Výsledek pro meziokenní sloupek 200 mm a čas 282 s	34
Obrázek 29: Velikost vyšlehujících plamenů.....	35

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Naměřené hodnoty I_k pro vzplanutí dřeva.....	8
Tabulka 2: Praktický výpočet polohového faktoru	13
Tabulka 3: Tabulkové hodnoty odstupových vzdáleností d	18

Seznam grafů:

Graf 1: Závislost odstupové vzdálenosti na kritické hodnotě tepelného toku.....	9
Graf 2: Průběh měření vnitřních teplot	29
Graf 3: Průběh vnitřních teplot v konkrétním nehořlavém objektu	30
Graf 4: Porovnání průběhu vnitřních teplot daného objektu.....	31
Graf 5: Porovnání teplot pro hoření na bázi reakčních podmínek propanu	32
Graf 6: Průběh teplot ve středu sálavé plochy.....	36

Seznam příloh:

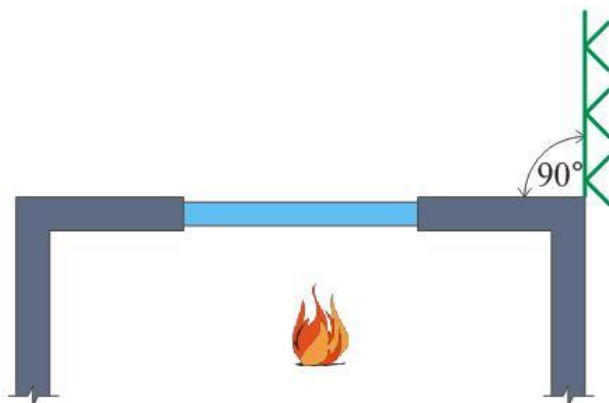
Příloha 1: Polohový faktor - kolmá a úhlová dispozice
Příloha 2: Řešení fasády pro omezení šíření požáru po jejím povrchu
Příloha 3: Data k modelu

Příloha 1: Polohový faktor - kolmá a úhlová dispozice

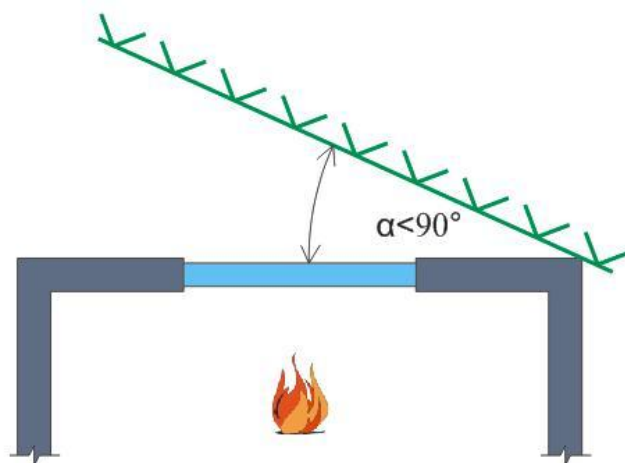
Sálavá plocha ovšem nemusí být vždycky jenom rovnoběžně s přijímací plochou. V praxi nastávají i jiné dispozice sálavé a přijímací plochy. Jsou to dispozice kolmá a úhlová, přičemž ta může svírat jak ostrý úhel, tak i úhel tupý. Příklady možných dispozic jsou uvedeny na následujících schématech (je zvolen objekt jako sálavá plocha – vůči hranici sousedního pozemku, který představuje příjmovou plochu).



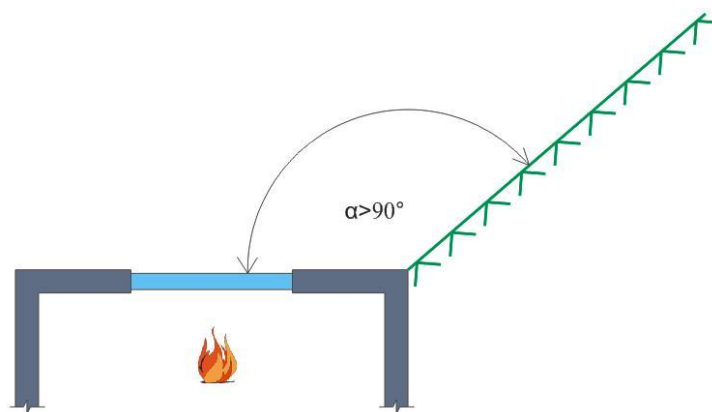
Obrázek P1.1a: Rovnoběžná dispozice [autor]



Obrázek P1.1b: Kolmá dispozice [autor]



Obrázek P1.1c: Dispozice v ostrém úhlu [autor]



Obrázek P1.1d: Dispozice v tupém úhlu [autor]

Určení odstupových vzdáleností pro různé prostorové dispozice se liší pouze ve výpočtu polohového faktoru Φ . Rovnice pro jeho výpočet jsou uvedeny v příloze G [1]. Rovnice pro kolmou dispozici:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{1}{\sqrt{(1+b^2)}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{\sqrt{(1+b^2)}} \right) \right] \quad (\text{P1.1})$$

kde $a = h / s$;

$b = w / s$;

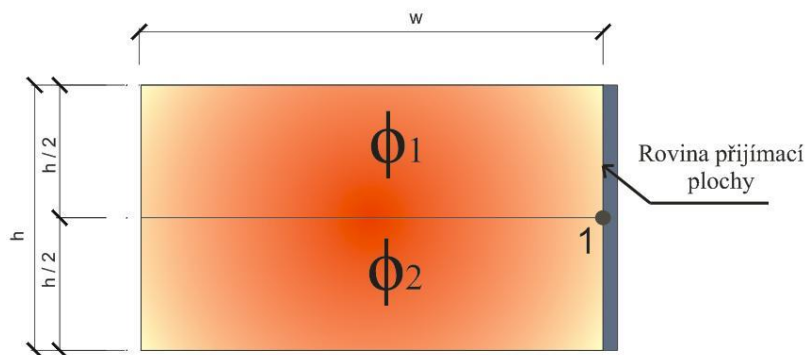
h je výška oblasti sálajícího povrchu;

w šířka oblasti sálajícího povrchu;

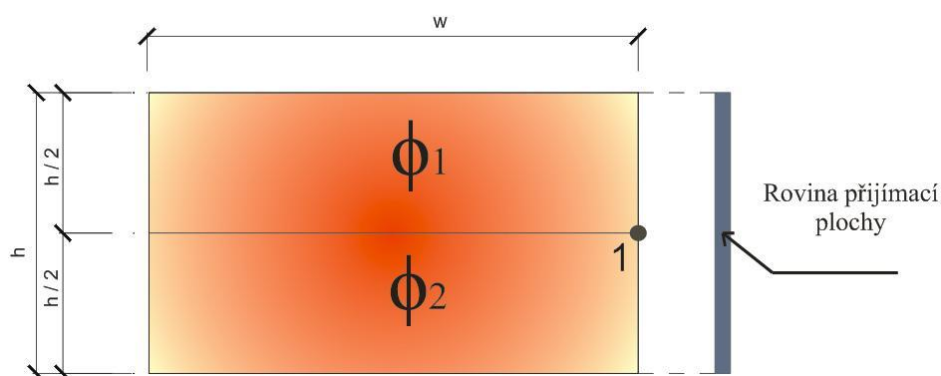
s vzdálenost z místa sálající plochy do místa dopadu.

Už na první pohled je rovnice (P1.1) pro kolmou dispozici jednodušší než rovnice (9) pro rovnoběžnou dispozici a zároveň se v ní složky odečítají, což jasně znamená, že výsledná hodnota polohového faktoru Φ a tím i odstupová vzdálenost bude menší. Základní případy pro kolmou dispozici jsou: 1) rovina příjmové plochy je na hraně sálavé plochy nebo za jejím okrajem (obrázek P1.2); 2) rovina příjmové plochy je posunuta do průmětu sálající plochy (obrázek P1.3).

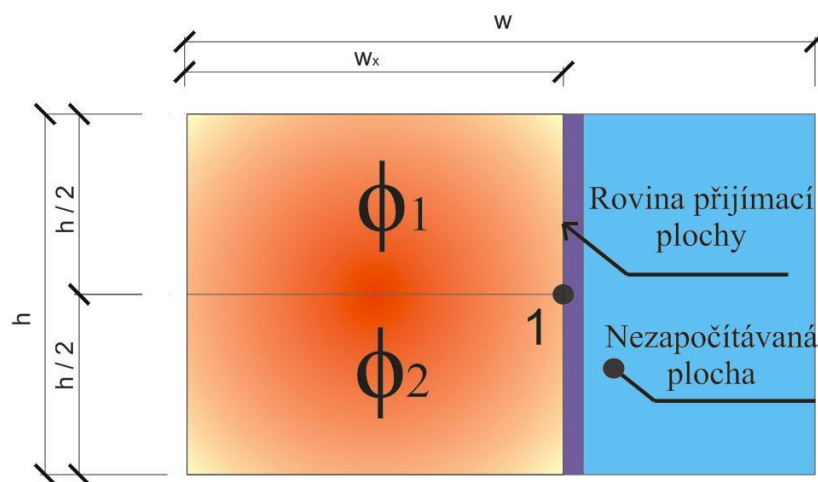
a) Rovina příjímající plochy na okraji sálavé plochy



b) Rovina přijímací plochy za okrajem sálavé plochy



Obrázek P1.2: Kolmá pozice - povrch na okraji (za okrajem) sálavé plochy [autor]

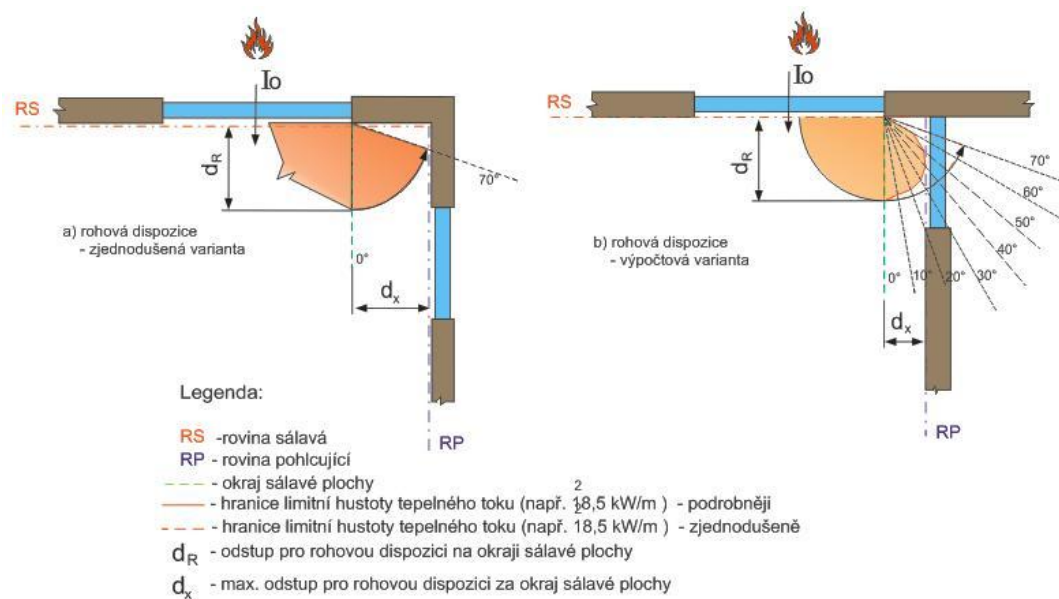


Obrázek P1.3: Kolmá pozice - povrch v průmětu sálavé plochy [autor]

Nejvyšší hodnotu polohového faktoru Φ pro kolmou dispozici, lze očekávat v bodě 1 (tj. v polovině výšky okraje sálavé plochy); do pomocných parametrů výpočtové rovnice se dosadí $a = h / 2 \cdot s$, $b = w / s$, případně $b = w_x / s$. Tím vypočteme dílčí polohový faktor Φ_1 , druhý dílčí faktor se nemusí počítat (bod 1 půlí sálavou plochu na dvě poloviny a $\Phi_1 = \Phi_2$). Opět se uplatní pravidlo o součtu polohových faktorů a celková hodnota polohového faktoru bude $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$

Pro druhý případ musíme nejprve určit, která část sálavé plochy bude emitovat tepelný tok na danou příjmovou rovinu. To se provede tak, že se započítá pouze ta část sálavé plochy, která je vidět z příjmové plochy (tj. na obrázku P1.3 červená plocha).

Základní princip vymezení požárně nebezpečného prostoru vůči výchozí odstupové vzdálenosti d_R pro kolmou dispozici je uveden na obrázku P1.4 a to buď zjednodušeně, nebo pomocí výpočtové varianty (Lambertův zákon).



Obrázek P1.4: Vymezení požárně nebezpečného prostoru pro kolmou dispozici [8]

Rovnice pro úhlovou dispozici:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{(1 - b \cos \theta)}{\sqrt{(1 + b^2 - 2b \cos \theta)}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{\sqrt{(1 + b^2 - 2b \cos \theta)}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{a \cos \theta}{\sqrt{(a^2 + \sin^2 \theta)}} \left[\tan^{-1} \left(\frac{(b - \cos \theta)}{\sqrt{(a^2 + \sin^2 \theta)}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{\sqrt{(a^2 + \sin^2 \theta)}} \right) \right] \right] \quad (\text{P1.2})$$

kde $a = h / s$;

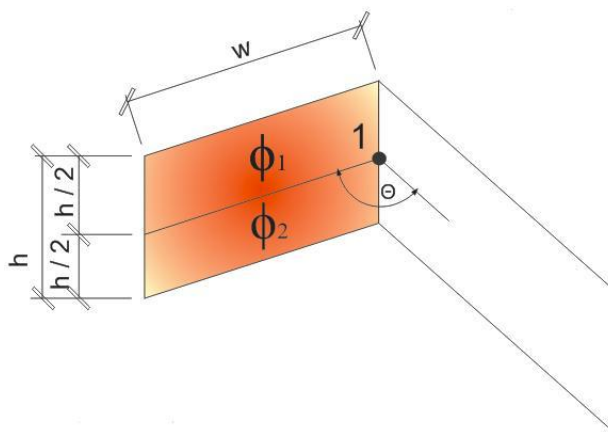
$b = w / s$;

h je výška oblasti sálajícího povrchu;

w šířka oblasti sálajícího povrchu;

s vzdálenost z místa sálající plochy do místa dopadu.

Základní varianta úhlové dispozice, včetně zadávacích dispozic, je uvedena na následujícím obrázku P1.5.



Obrázek P1.5: Základní schéma úhlové dispozice se společnou hranou [autor]

Nejvyšší hodnotu polohového faktoru Φ pro uhlovou dispozici, lze očekávat v bodě 1 (tj. v polovině výšky okraje sálavé plochy); do pomocných parametrů výpočtové rovnice se dosadí $a = h / 2 / s$, $b = w / s$.

Rovnice (P1.2) platí obecně pro oblast úhlu 0 až 180°. Při praktickém ověřování však nedává očekávané výsledky v intervalu 0°- 20°, kdy místo aby odstupová vzdálenost s menším úhlem odklonu rostla a při odklonu 0°, byla největší (a současně stejné hodnoty jako u identické rovnoběžné dispozice), tak se její velikost zmenšuje. Tento nedostatek můžeme v intervalu 0° - 10° odstranit jednoduchou trigonometrickou úpravou:

$$\Phi_x = \Phi_R - (\Phi_R - \Phi_K) \cdot \cos \Theta_x$$

kde Φ_K je standardní polohový faktor pro kolmou dispozici;

Φ_R je standardní polohový faktor pro rovnoběžnou dispozici;

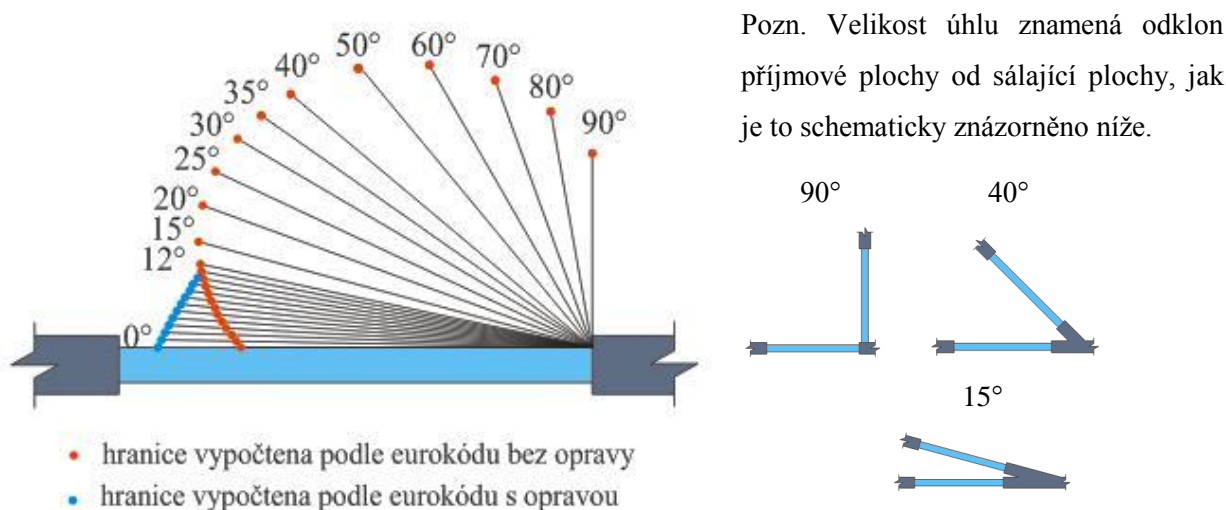
$\Theta_x = 90 - X^\circ$, přičemž X° představuje odklon pohlcujícího povrchu vůči úhlu 90°.

V tabulce P1.1 je provedeno srovnání výpočtu odstupové vzdálenosti bez úpravy a s úpravou. Výpočet je proveden pro požární výpočtové zatížení $p_v = 45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ a rozměry sálavé plochy 3 x 3 metry; (úhel odklonu 90° je v podstatě kolmá dispozice). V položce „odstup s úpravou“ je již zahrnuta korekce výše uvedenou trigonometrickou úpravou.

Tabulka P1.1: Odstupová vzdálenost pro dispozici v ostrém úhlu

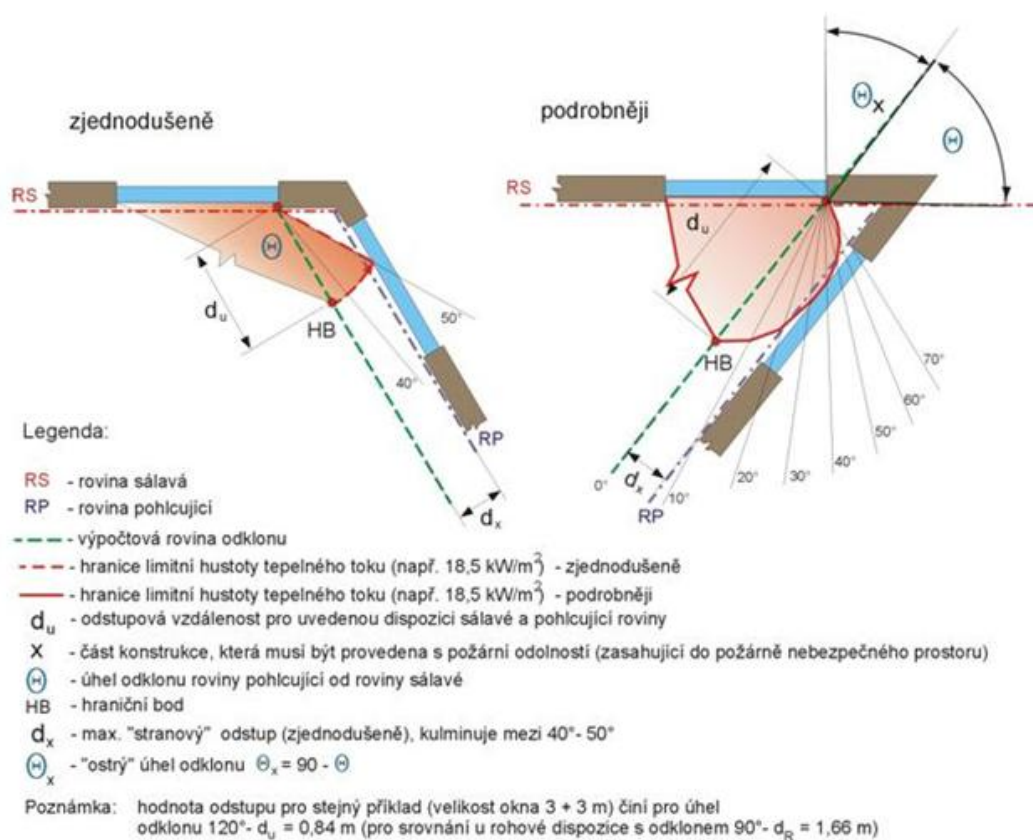
Úhel odklonu [°]	90	80	70	60	50	40	35	30
Odstup bez úpravy [m]	1,66	2,05	2,43	2,79	3,12	3,37	3,46	3,53
Odstup s úpravou [m]	1,66	2,05	2,43	2,79	3,12	3,37	3,46	3,53
Úhel odklonu [°]	25	20	15	12	11	10	9	8
Odstup bez úpravy [m]	3,56	3,55	3,49	3,43	3,41	3,38	3,35	3,32
Odstup s úpravou [m]	3,56	3,55	3,49	3,43	3,41	3,43	3,46	3,48
Úhel odklonu [°]	7	6	5	4	3	2	1	0
Odstup bez úpravy [m]	3,29	3,25	3,22	3,18	3,14	3,09	3,05	3,01
Odstup s úpravou [m]	3,51	3,54	3,57	3,60	3,63	3,66	3,69	3,72

Z porovnání hodnot v tabulce vyplývá správnost uvedené úpravy rovnice (P1.2). Hodnoty jsou graficky znázorněny na obrázku P1.6.



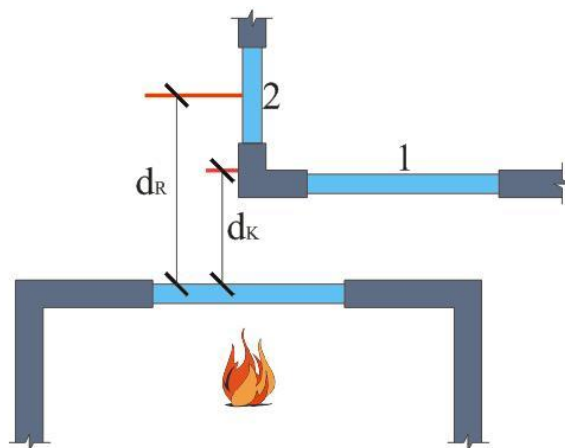
Obrázek P1.6: Grafické znázornění hodnot tabulky P1.1 [autor]

Možné způsoby vymezení požárně nebezpečného prostoru vůči vymezení výchozí odstupové vzdálenosti d_U pro úhlovou dispozici je uveden na obrázku P1.7 a to buď zjednodušeně, nebo pomocí výpočtové varianty (Lambertův zákon).



Obrázek P1.7: Vymezení požárně nebezpečného prostoru pro úhlovou dispozici [8]

Na závěr této přílohy bych ještě uvedl, že v praxi se mohou vyskytovat také vzájemné kombinace jednotlivých dispozic. Na následujícím obrázku P1.8 je zobrazena situace, kdy do požárně nebezpečného prostoru jednoho objektu zasahují dvě různé příjmové plochy druhého objektu (jedna je vůči výchozí sálavé ploše v dispozici rovnoběžné a druhá v dispozici kolmé). Takové rozlišení má význam pro přesné vymezení odstupových vzdáleností a na rozhodnutí, jakým způsobem mají být např. požárně zajištěny otvory v obvodových stěnách.



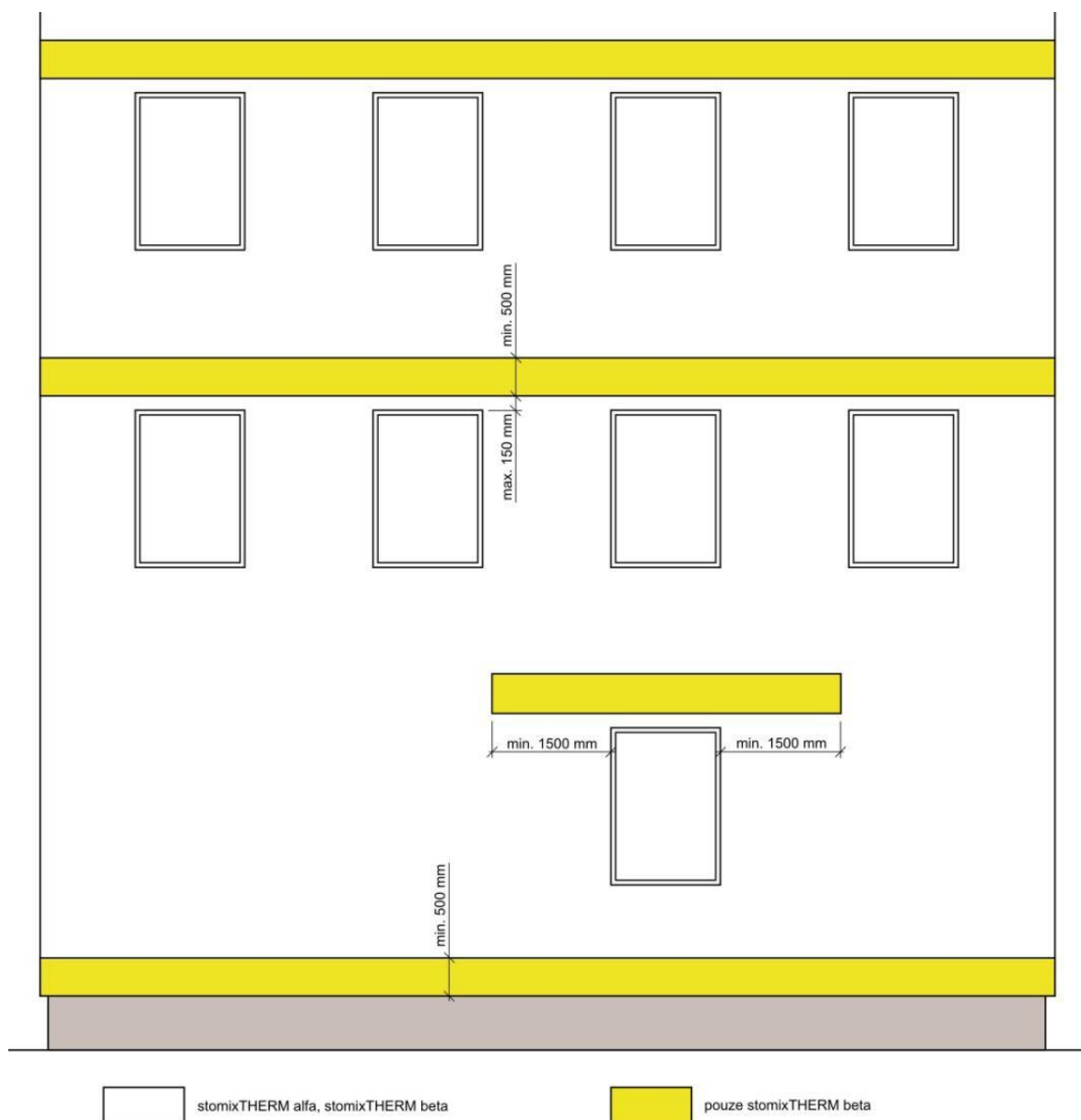
d_R - odstupová vzdálenost pro rovnoběžnou dispozici

d_K - odstupová vzdálenost pro kolmou dispozici

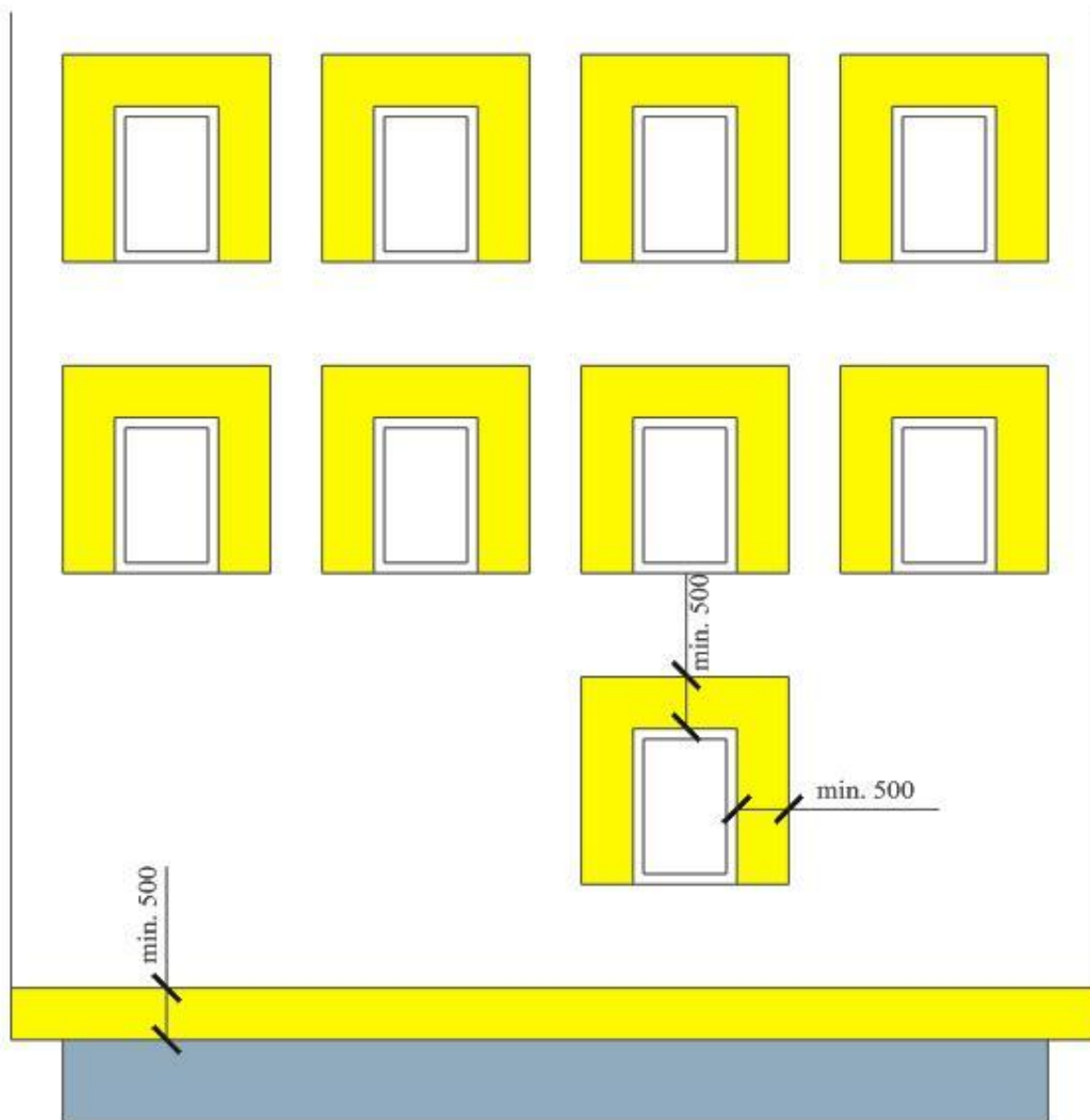
1 - okno, posuzované rovnoběžnou dispozicí

2 - okno, posuzované kolmou dispozicí

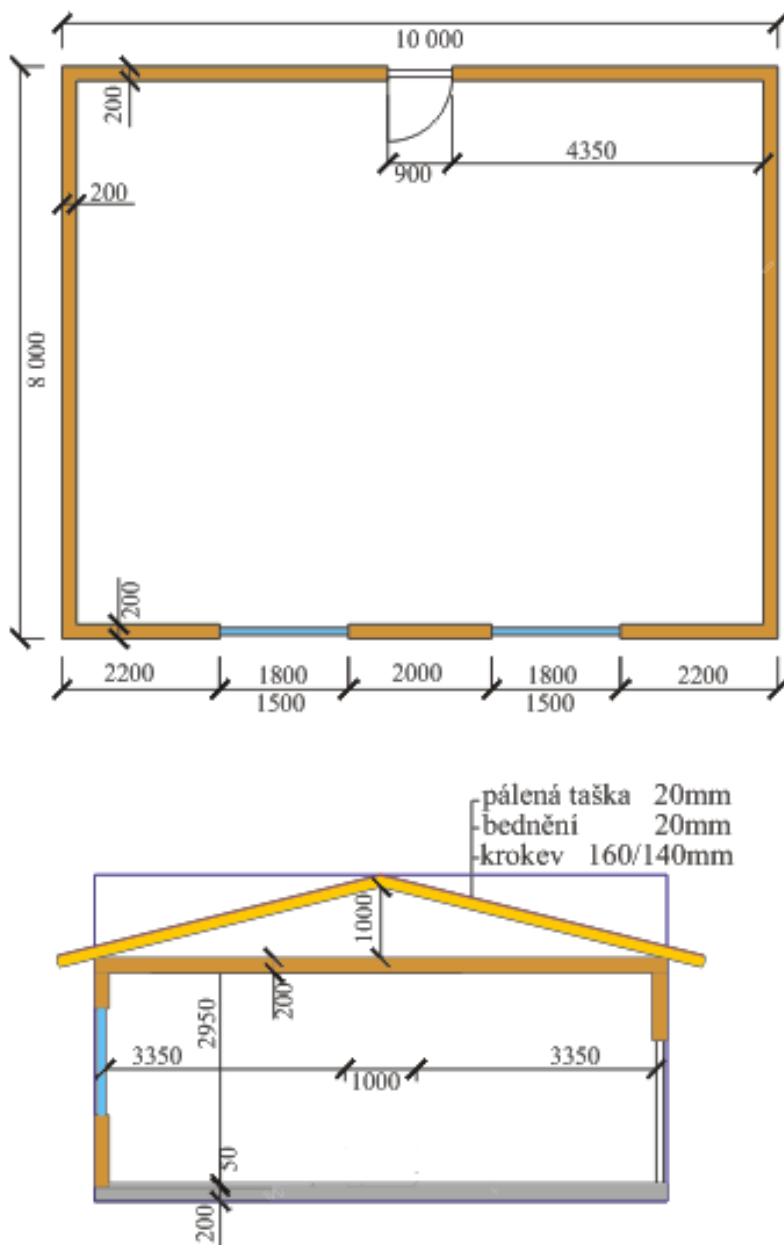
Obrázek P1.8: Příklad kombinace dvou různých dispozic příjmové plochy [autor]

Příloha 2: Řešení fasády pro omezení šíření požáru po jejím povrchu

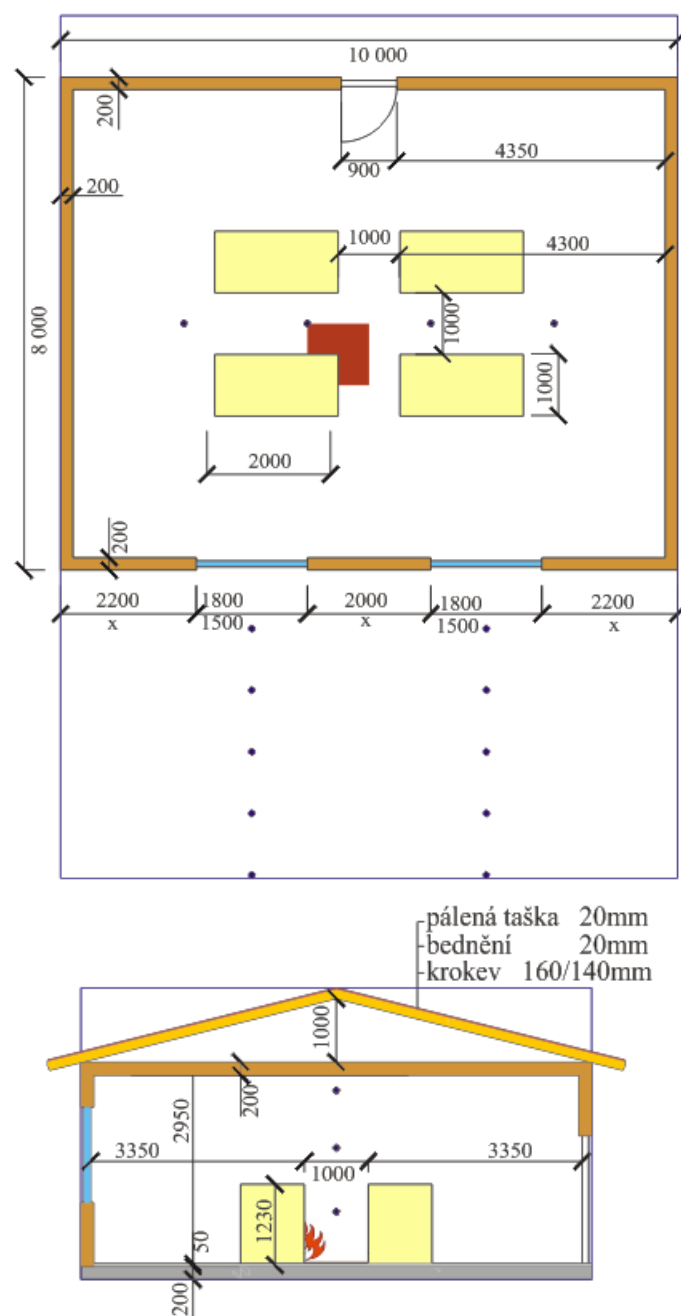
Obrázek P2.1: Normové řešení zamezení šíření požáru po fasádě [7]



Obrázek P2.2: Bezpečnější řešení fasády proti šíření ohně po jejím povrchu [autor]

Příloha 3: Data k modelu

Obrázek P3.1: Schéma základního modelu [autor]



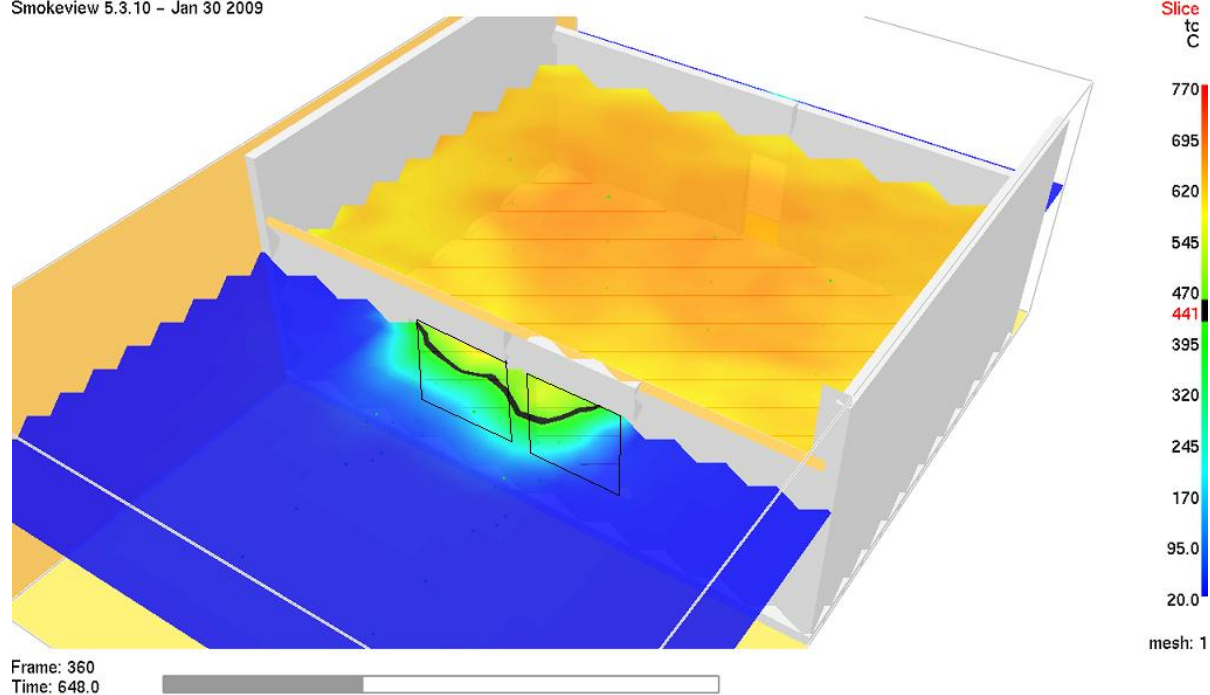
- hranice modelu
- radiometry
- x hodnoty takto označené platí pouze pro první model ve druhém modelu se budou měnit
- požární zatížení - ekvivalentní množství hranolků 30x30x1000 mm pro $p_n = 30 \text{ kg/m}^2$
- iniciační zdroj modelu

Obrázek P3.2: Schéma modelu se zatížením [autor]



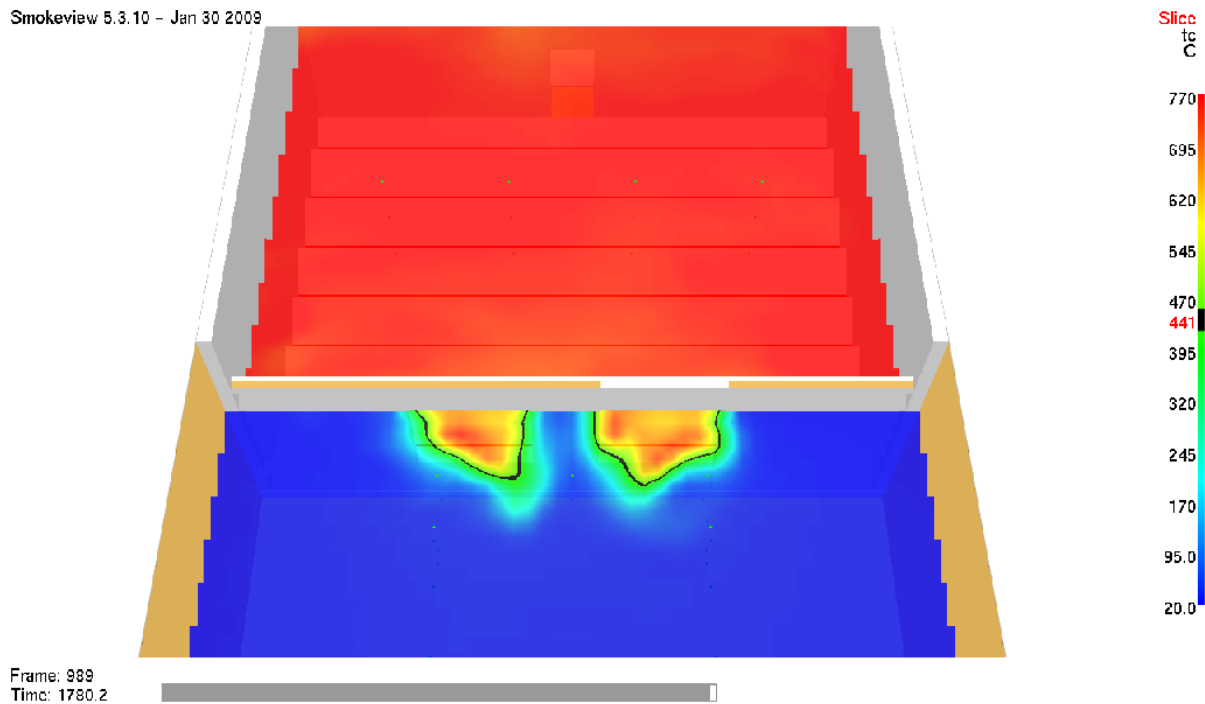
Obrázek P3.3: 3D schéma objektu se zatížením [autor]

Smokeview 5.3.10 – Jan 30 2009



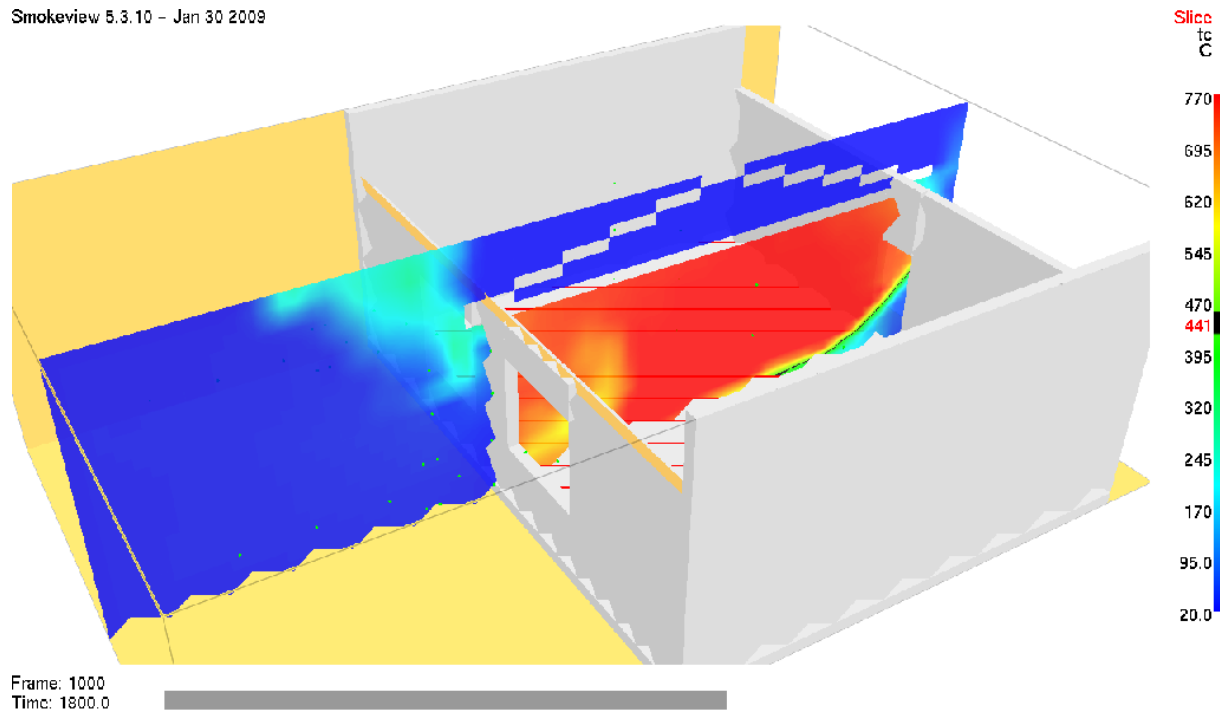
Obrázek P3.4: Výsledek pro meziokení sloupek 400 mm a čas 648 s [autor]

Smokeview 5.3.10 – Jan 30 2009



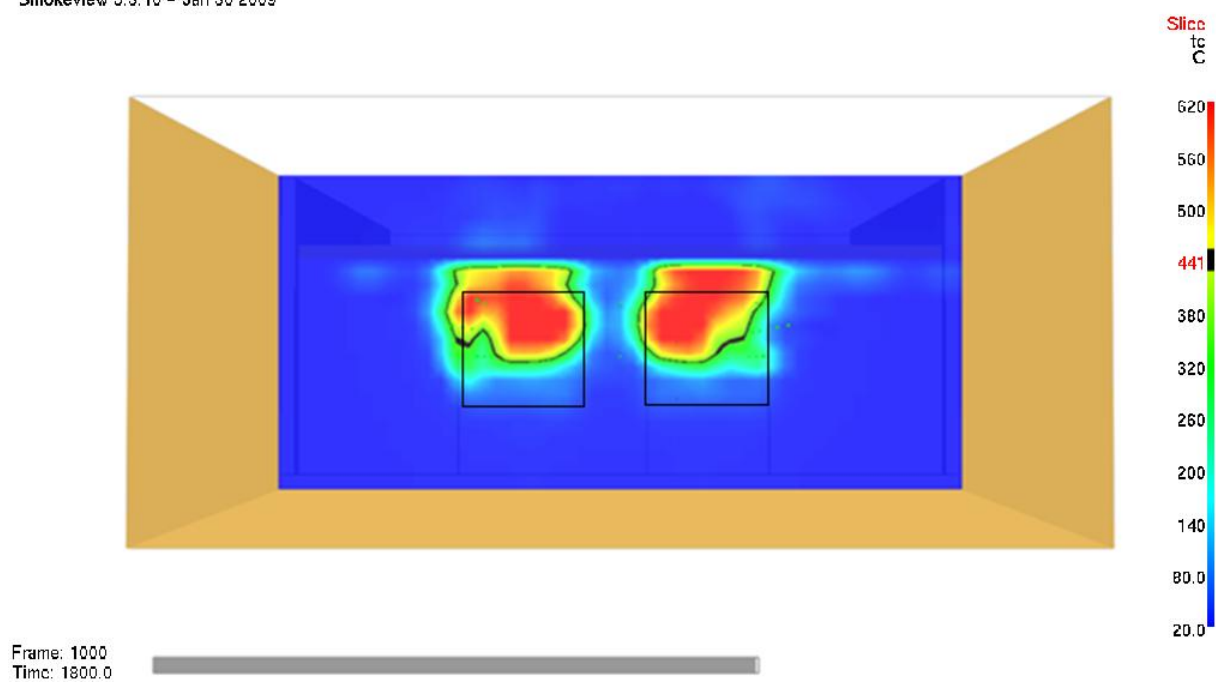
Obrázek P3.7: Výsledek pro meziokení sloupek 1000 mm a čas 1780 s [autor]

Smokeview 5.3.10 – Jan 30 2009



Obrázek P3.8 Šíření tepla ve vertikální rovině pro meziokení sloupek 1m [autor]

Smokeview 5.3.10 - Jan 30 2009



Obrázek P3.9: Velikost sálavé plochy [autor]

Graf P3.1: Průběh teplot v celém prostoru hořícího objektu [autor]

